

101-145-2157
MOTC-IOT-100-EDB013

臺鐵包車營運需求下 列車班表之研究

著者：陳一昌、許書耕、許修豪、李宇欣、陳春益、
余秀梅、李衍儒、楊承道、盧立昕、
楊峻武、吳美玲、王彥傑、蔡欣恬

交通部運輸研究所

中華民國 101 年 11 月

國家圖書館出版品預行編目資料

臺鐵包車營運需求下列車班表之研究 / 陳一昌等
著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運研所，民 101.11
面；公分
ISBN 978-986-03-4544-5(平裝)

1.鐵路管理 2.運輸系統

557

101023232

臺鐵包車營運需求下列車班表之研究

著者：陳一昌、許書耕、許修豪、李宇欣、陳春益、余秀梅、李衍儒、楊承道、盧立昕、楊峻武、吳美玲、王彥傑、蔡欣恬

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網址：www.iot.gov.tw (中文版>圖書服務>本所出版品)

電話：(02)23496823

出版年月：中華民國 101 年 11 月

印刷者：肯定實業股份有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 80 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：100 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組・電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號・電話：(02)25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號・電話：(04)22260330

GPN：1010102730

ISBN：978-986-03-4544-5 (平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所合作研究/共同研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：臺鐵包車營運需求下列車班表之研究			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-03-4544-5 (平裝)	政府出版品統一編號 1010102730	運輸研究所出版品編號 101-145-2157	計畫編號 100-EDB013
本所主辦單位：運輸工程組 主管：陳一昌 計畫主持人：陳一昌 研究人員：許書耕、許修豪 聯絡電話：02-23496823 傳真號碼：02-25450427	合作研究單位：財團法人成大研究發展基金會 計畫主持人：李宇欣 研究人員：陳春益、余秀梅、李衍儒、楊承道、盧立昕、楊峻武、吳美玲、王彥傑、蔡欣恬 地址：701 臺南市大學路 1 號 聯絡電話：06-2757575		研究期間 自 100 年 5 月 至 100 年 11 月
關鍵詞：鐵路、不定期列車、自動排點、列車衝突、穩定性			
摘要： 本研究主要目標在構建一個具實務使用能力之數學模式，以求解臺鐵於現行營運班表下增加包車班次之列車排班問題，並分析列車排點方案穩定度。此外並蒐集分析臺鐵現行加開列車申請作業流程（含列車排點、機班、車班編組）並提出改善建議。 本研究主要包含 4 部份：第 1 部份分析臺鐵不定期列車之需求、供給狀況與內部作業流程；第 2 部份構建最佳化數學模式，求解在現行定期列車班表中加入不定期列車之方案，考慮限制因素有不影響定期班表及對定期班表影響程度最小兩項；第 3 部份以模擬方法評估隨機擾動及調度作為影響下的班表穩定性；第 4 部分以新左營至臺東、100 年 9 月 28 日改點之真實軌道與真實班表驗證模式正確性與實用性。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
101 年 11 月	106	100	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密條件： <input type="checkbox"/> 年 月 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密） <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: A Study on Scheduling Charter Trains for the Taiwan Railway Administration System			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-03-4544-5 (pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010102730	IOT SERIAL NUMBER 101-145-2157	PROJECT NUMBER 100-EDB013
DIVISION: Engineering Division DIVISION DIRECTOR: I-Chang Chen PRINCIPAL INVESTIGATOR: I-Chang Chen PROJECT STAFF: Shu-Geng Xu , Hsiu-Hao Hsu PHONE: 886-2-23496823 FAX: 886-2-25450427			PROJECT PERIOD FROM May 2011 TO November 2011
RESEARCH AGENCY: NCKU Research & Development Foundation PRINCIPAL INVESTIGATOR: Yusin Lee PROJECT STAFF: Chuen-Yih Chen, Hsiu-Mei Yu, Yen-Ju Lee, Cheng-Tao Yang, Li-Sin Lu, Jiun-Wu Yang, Mei-Ling Wu, Yen-Chieh Wang, Hsin-Tien Tsai ADDRESS: 1 University Road, Tainan, Taiwan 701 PHONE: 886-6-2757575			
KEY WORDS: Railway, Charter train, Automated scheduling, Train conflict, Stability			
ABSTRACT: <p>The goal of this research is to develop a mathematical method to solve the real-world problem of adding charter trains into the current Taiwan Railway Administration (TRA) timetable, and to analyze the stability of the plan. This work also covers the current planning process for charter trains in TRA, issues including train scheduling, train drivers, and rolling stocks are discussed.</p> <p>The work is divided into four major parts. The first part studies the demand for charter trains as well as the current planning process. The second part proposes an optimization-based mathematical model to solve for plans to insert charter trains into the current timetable. Requirements considered include fixing the schedule for all existing trains, as well as allowing a controlled flexibility for the existing timetable as the charter train is inserted. The third part estimates the influence of random perturbations and management efforts on stability with simulation, and the final part tests the correctness, as well as the ability for real-world applications, of the model with a real case taken from the TRA system. The case covers the section of railway between the New- Zuoying and the Taitung stations, and uses the current schedule which came into effect on 28 September 2011.</p>			
DATE OF PUBLICATION November 2012	NUMBER OF PAGES 106	PRICE 100	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目錄

第一章 前言	1
1.1 緣起	1
1.2 研究目的	1
1.3 研究方法與流程	1
第二章 研究背景分析	3
2.1 本研究重要性與定位	3
2.2 排點技術相關文獻	4
2.3 既有班表加入新增列車技術相關文獻	6
2.4 路線容量評估技術相關文獻	6
2.5 運轉模擬相關技術相關文獻	9
第三章 臺鐵系統不定期列車營運現況	13
3.1 不定期列車分類	13
3.2 團體列車申請作業流程及規定	14
3.3 兩鐵列車申請作業流程及規定	15
3.4 專開列車申請作業流程及規定	16
3.5 不定期列車之需求	17
3.6 臺鐵局相關組織	17
3.7 臺鐵現行不定期列車作業流程分析	18
3.8 臺鐵現行不定期列車作業流程改善建議	20
第四章 增加包車班次之列車排班模式	25
4.1 概說	25
4.2 問題定義	25
4.3 軌道模型與車次模型	25
4.4 新增列車路徑數學模型	27
4.5 新增列車行點數學模型	32
4.6 新增列車排點方案之求解	36
第五章 班表穩定度分析	39
5.1 穩定度之衡量	39
5.2 新增列車方案班表穩定度之分析	40
第六章 測試例	41
6.1 背景班表與新增列車	41
6.2 測試方法	41
6.3 測試結果	42
6.4 真實班表測試之發現	50
第七章 結論與建議	51
7.1 結論	51

7.2 建議	51
參考文獻.....	53
附錄 1 期中報告審查意見處理情形表	57
附錄 2 期末報告審查意見處理情形表	67
附錄 3 期末簡報.....	79

表目錄

表 3.1-1 臺鐵不定期列車分類.....	14
表 3.2-1 臺鐵開行團體列車統計.....	15
表 3.4-1 臺鐵專開列車定員人數規定.....	16
表 3.5-1 臺鐵一至七月不定期列車每月數量統計.....	17
表 3.5-2 臺鐵一至七月不定期列車車種數量統計.....	17
表 3.5-3 臺鐵一至七月部份車站不定期列車通過數量統計.....	17
表 3.8-1 臺鐵現行不定期列車作業流程.....	20
表 3.8-2 臺鐵建議不定期列車作業流程.....	22
表 6.1-1 新增列車最小停站時分設定.....	41
表 6.3-1 新增列車各方案行點.....	42

圖目錄

圖 1.3-1 本研究作業流程圖.....	2
圖 2.4-1 鐵路容量方法估計示意圖(1970 年代方法)	8
圖 2.4-2 路線容量與可靠度關係示意圖.....	9
圖 3.3-1 人車同行車廂.....	15
圖 3.8-1 不定期列車作業程序.....	20
圖 3.8-2 不定期列車機車運用計畫示例.....	21
圖 3.8-3 不定期列車機車運用計畫示例.....	23
圖 4.3-1 區段定義示意圖.....	26
圖 4.3-2 股道與區間定義示意圖.....	26
圖 4.4-1 簡單車站示意圖.....	27
圖 4.4-2 新增列車路徑示意圖(一)	27
圖 4.4-3 新增列車路徑示意圖(二)	28
圖 4.4-4 新增列車路徑示意圖(三)	28
圖 4.4-5 於給定可行班表中插入新增列車路徑示意圖	29
圖 4.4-6 股道分配模式.....	30
圖 4.4-7 最短路徑模型.....	31
圖 4.5-1 新增列車行點模式.....	35
圖 6.3-1 方案 1 運行圖.....	43
圖 6.3-2 方案 3 運行圖.....	44
圖 6.3-3 方案 6 運行圖.....	44
圖 6.3-4 方案 8 運行圖.....	45
圖 6.3-5 方案 10 運行圖.....	45
圖 6.3-6 方案 11 運行圖.....	46
圖 6.3-7 方案 30 運行圖.....	46
圖 6.3-8 準點圖顏色圖例.....	47
圖 6.3-9 背景班表準點圖($P=0, R=0$)	47
圖 6.3-10 背景班表準點圖($P=0, R=0.75$)	48
圖 6.3-11 方案 30 背景班表準點圖(新增列車 $P=0.5, R=0$).....	48
圖 6.3-12 方案 30 背景班表準點圖(新增列車 $P=3, R=0$).....	49
圖 6.3-13 方案 30 背景班表準點圖(新增列車 $P=3, R=0.75$).....	49

第一章 前言

1. 1 緣起

「臺鐵包車營運需求下列車班表之研究」(以下簡稱本研究)係交通部毛部長於「交通部 2010 年陸海空重大交通政策論壇」中闡述交通部重大政策時，針對臺鐵後續發展提出數項議題，包括捷運化、多元化服務(觀光/主題 charter…)等。其中，結合觀光、主題式旅遊之鐵路包車，經常有供不應求之情形，除因人員(機班)、車輛(機車班等)方面之限制外，如何在現行之定期列車班表中，解析出可行之各種包車班表方案，將有助提高臺鐵營運彈性。本計畫擬藉由列車排班模式之構建，評估營運之定期班表中，因應包車需求之班表方案。本計畫之執行期限 100 年 6 月 23 日至 100 年 11 月 22 日止，共計 5 個月。

1. 2 研究目的

本研究最主要之目的在構建用以分析臺鐵現行營運班表下增加包車班次之列車排班模式。除了此一主要目的之外，本計畫並及於臺鐵相關作業流程之瞭解、分析、與改善建議之研擬。在模式構建方面並包含有班表穩定度之分析。

1. 3 研究方法與流程

本研究為實務應用導向性質，以發展實務應用所需要之技術為主旨。其主要工作項目包括實務資料蒐集與整理、文獻料蒐集與整理、模式發展與測試、撰寫報告等，最後並以所發展之技術撰寫可發表之學術論文。研究流程詳見圖 1.3-1。

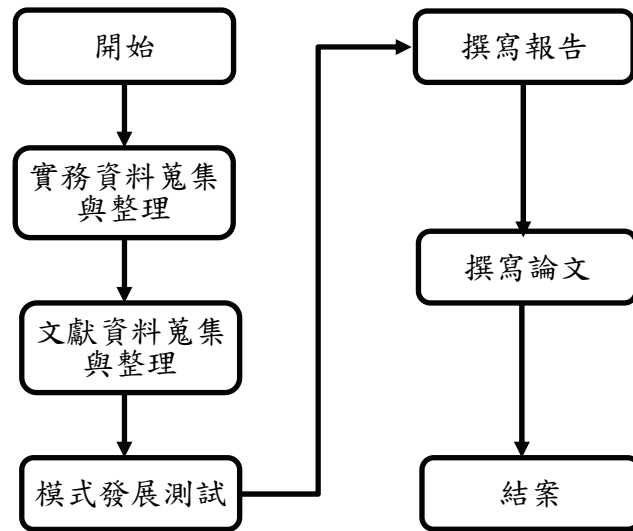


圖 1.3-1 本研究作業流程圖

第二章 研究背景分析

本研究以臺鐵的不定期列車業務相關調度技術為主軸。就安排的車次數量而言，不定期列車之數量遠少於一般定期列車之數量。然而就涉及之技術而言，不定期列車在安排上受到定期列車之約束，其相關調度工作之困難程度有過之而無不及。相關調度工作牽涉甚廣，而本研究之主軸在排點相關技術。以下各節將先分析本研究之重要性與定位，後就排點技術、在既有班表中加入新列車之技術、路線容量評估技術與運轉模擬相關技術等 4 方面，回顧主要文獻。

2.1 本研究重要性與定位

就開行列次數上而言，臺鐵系統中不定期列車之數量比例極低，遠不及百分之一。在作業成本上，不定期列車所帶來之作業負荷以及執行時對軌道各種資源之使用相對高於一般定期列車。然為因應經營彈性及配合交通政策，不定期列車卻受到相當重視。而在可見的未來，不定期列車將成為臺鐵系統相當重要之需求，同時又成為重要獲利來源。本研究以臺鐵不定期列車業務為研究對象，廣泛瞭解其相關課題，並針對行點問題發展數學模式。

班表排定之工作為鐵路系統營運作業中居於最核心之業務。班表之良窳，關係了整個鐵路系統對使用者的服務品質，也影響了鐵路系統中人(司機員)、車(車輛運用)、路(軌道資源)等最關鍵資源的應用效率。本研究切入此一核心議題，發展自動化、最佳化之數學技術，其重要性可分析如下。

首先，本研究之主要目的在構建用以分析臺鐵現行營運班表下增加不定期列車之列車排班模式。現行臺鐵局對不定期列車之作業以人工為主，費時甚久，已不能完全滿足使用者之期待。本研究之成果將可作為未來自動化輔助系統之核心技術。雖然班表之排定並非不定期列車作業之全部，但班表排定作業之自動化已可大幅降低作業時間。

就長遠營運面而言，營運管理系統建立為臺鐵局近二十年來努力目標，目前也獲得可觀成果。然而與自動化、具有最佳化能力目標仍有一段距離。本研究構建不定期列車列車排班模式，使用了自動排點大部份技術。因此，其成果將成為決策輔助系統或自動排點系統核心技術先驅與試金石，亦可降低未來營運管理系統發展風險。

在政策規劃面，鐵路工程與營運策略之規劃評估階段若無班表，將難以具體評估容量與服務績效。因此在各種不同情境與營運策略之假設下快速解得各種班表，以利規劃評估單位精準評估容量，亦為本研究未來重要應用。

2. 2 排點技術相關文獻

近 10 年來國際上對軌道車輛排點技術研究著墨甚多，國內亦有發表。以下依求解方法分類，回顧幾個研究方向目前的發展。

1.混合整數規劃(Mixed-integer programming)

軌道車輛排點問題的核心在於決定各車次使用其行程上所通過的各車站時，所分配使用的股道，以及使用這些股道的順序。這些資訊本質上為離散量。相對於行點時間為連續量，有基本上之差異。同時，班表編排上所需遵守的限制以各種時隔為主，在若干簡化假設下，基本上大都能夠以線性的數學代數式描述之。為此有些文獻利用雙元整數變數描述問題中屬離散量的通過順序部份，再利用無整數限制的實數變數代表班表中的時間項，據以使用線性混合整數規劃模式建構班表問題並求解之。

Carey[1]及其所領導之研究團隊使用混合整數模式求解列車班表，所發表之一系列研究成果[1-3]早在十餘年前即已獲得相當接近實務需求之良好成果。該團隊所發展之數學模式[3]具有求解單一行車方向班表的能力。然而雙向行車股道的存在使得任一模式求解班表時均無法獨立考慮兩行車方向。為此，後續之研究成果[2]將之推廣到同時考慮兩行車方向。在[2]及[3]發表之前，相關的學術研究成果在求解列車之交會與待避時多僅考慮各相關車站之總容量，而未能實際考慮股道之分配方式。這些研究開領域之先河，對列車所使用之股道分配方式作深入之探討，為其最重要研究貢獻之一。然而這些數學模式均架構於混合整數規劃基礎上，因此甚難求解。以致於這些文章所發表之成果均僅能求解極小規模之問題，而與實際系統相去甚遠。在之後的十餘年間，該研究團隊亦未針對其數學模式提出更強大，足以求解真實規模問題之求解演算法。

另一團隊之成果，Caprara, Fischetti, and Toth[4]也在類似的觀念下構建混合整數規劃模式列車系統以求解規格班表。為了降低模式的複雜程度以利求解，該模式僅考慮單線、線狀(不分叉)軌道，並僅考慮單一行車方向。然而真實軌道系統鮮少有滿足這些假設者，而且兩行車方向的列車並無法分別獨立考慮。因此該模式並無實用能力。同時，雖然該模式已經大幅簡化，但直接使用分枝定限法等廣用演算法求解仍有相當的困難，因此該研究使用拉式鬆弛法(Lagrangian relaxation)再配合啟發式解法以解得近似解。

國內方面，謝汶進[5]所提出之數學模式以及鍾志成等[6]之成果亦屬本類。受複雜模式之影響，這些成果之求解能力均極其有限，無法應用於實務規模之列車排點問題。

2.混合整數規劃與基因演算法

基因演算法為常用之巨集式求解策略之一。Chung, Oh, and Choi[7]利用混合整數規劃模式配合基因演算法求解韓國鐵路系統的排點問題。在班表之上，本模式納入了相當多的額外考量因素，其中包括列車編組行駛里程的平衡、過夜基地

的容量、編組維修里程的有效使用等。然而本模式並未完整納入最重要的衝突排除考慮。因此雖然論文中以韓國的實際鐵路為例呈現了測試成果，但僅能用以作較簡略之系統規劃，於複雜問題並無法求解可用之列車班表。

3.工作排程模式

工作排程問題(Job-shop scheduling problem)為重要的組合最佳化問題，用以求解一組工作通過一組機台之最佳排程。以此模式為基礎，Liu and Kozan[8]將列車視為工廠中之工作項目、並將單一股道的軌道區間視為單一機台、將多股道軌道區間視為多台平行機台，而利用工作排程模式求解軌道列車之排點問題。此一方法利用工作由一個機台移動至下一個機台的動作，描述軌道系統中各列車由一個閉塞區間行駛至下一個閉塞區間的行為。每一機台在任一時間僅能處理一件工作，則類比於任一閉塞區間在任一時間僅能容內一列列車。由於列車在離開一個閉塞區間的同時必須進入下一個閉塞區間，因此模式中設定各項工作在機台之間沒有緩衝時間。如果工作在一個機台上完成處理時，其下一個機台因為尚在處理其他工作而無法進入，則必須留在前機台上等待。在真實軌道系統中，使用同一區間之不同列車之間的最小時間間隔隨前後火車列車的行駛方向以及是否有停站而有所差異。此外，車站內各股道分配予各列車之方式也會影響列車之間是否產生衝突。而站內股道有平面交叉時，兩列使用完全不同股道的列車亦有相互干擾的可能。這些重要的真實狀況並無法完整納入這個工作排程模式中。因此本模式雖然具有其學術價值，但與實用尚有一段距離。

4.啟發式演算法(Heuristic algorithms)

不同於引用既成的數學模式以發展排點模式，Lee and Chen[9]針對軌道車輛排點問題發展特殊專用演算法。其演算法自一個可行班表開始，以回合演算的方式持續改善之，直到解得可用的優良班表為止。演算法的每個回合分為四個階段。始於一個已知的可行班表，每回合的第一階段以鄰近搜尋法小幅度改變列車通過各站間區間的順序。第二階段利用一個純雙元整數規劃模式以分配各車次通過各站時所使用的股道。演算法的第三階段則使用一個不含整數的純線性規劃模式以求解各班列車通過各站內股道的順序，最後在第四階段使用另一個線性規劃模式求解完整班表。本文獻的成果完整考慮各種真實考量的因素，為目前所見最為完整的模式。在求解能力上此論文所提出之演算法亦足以求解真實規模之排點問題，為目前所見最接近實務需求者。該模式並未直接納入列車機車牽引能力的考量，而是以基準運轉時分以及適當的安全時隔達到目的。這種作法與臺鐵實務作法相接近，但在學理上仍有其待改善的空間。此外，周永暉與張家祝[10]針對特殊假期之需求發展排點模式，亦以啟發式演算法求解之。黃任由[11]利用平行螞蟻演算法求解列車班表。

5.平行與分散式計算(Parallel and distributed computing)

軌道車輛排點問題之求解需要相當可觀之計算量。雖然 Lee and Chen[9]所提出之理論模型具有符合實務問題需求之建模能力，但求解真實班表時仍相當費時。

為此套裝軟體 TrainWorld EMMA2[12] 以 Lee and Chen[9]所提出之理論模型，納入平行與分散式求解策略，配合多執行緒(multi-threads)與 message-passing interface (mpi)以充份使用現代電腦多 CPU 之架構。其求解效率較 Lee and Chen[9] 的原型程式大幅提高。

2.3 既有班表加入新增列車技術相關文獻

與求解鐵路列車班表相關的另一課題是如何在一個既有班表中加入額外的新增列車。此二課題具有很深的關聯性，但並非完全相同。在不允許調整既有班表的條件下，Nagarajan and Ranade[13] 提出在其中加入一班列車的方法。其方法之特性在充份考慮鐵路號誌、列車長度、以及列車之牽引機械性能，然而亦因此而使計算甚為複雜。雖然該文獻證明其方法為多項式時間演算法，仍然於無法處理大規模的實務問題。此外，Burdett and Kozan[14]則以工作排程模式為基礎，提出加入新增列車的方法。此法之缺點與前述其他以工作排程模式為出發點之模式類似，無法充份考慮所有實務需求。最後，Cacchiani 等[15]針對貨運車提出於班表中增加列車的方法。然而貨運車之特性與客運車相去甚遠，例如該文獻假設新增之列車之行程僅固定起迄車站，中間經過之車站則可不指定。

2.4 路線容量評估技術相關文獻

鐵路容量分析的目的在瞭解一鐵路系統提供運輸服務的能力，以及營運中的鐵路系統使用其可用資源的程度。這類分析對鐵路營運具有相當的重要性，可以協助鐵路管理單位具體評估使用鐵路資源的效率，以及未來進一步提供更多運輸服務的能力。同時鐵路容量分析也是鐵路管理單位擬訂未來營運策略、行車計畫的重要依據。路線容量評估方法並不唯一，常見之主要模式可分為解析模式、模擬模式及最佳化模式等。各種模式對於容量計算上的優缺點以及適用情況於[16]有詳細之介紹與分析比較。

國際鐵路協會(UIC)於 2004 年提出路線容量評估方法(UIC leaflet 406)[17]之新建議方法。其主要觀念指出：「鐵路容量為一段路線在一定資源、一定行車計畫下衡量列車通過能力的指標」[18]。在此新觀念下，UIC 於 2004 年提出了建議的路線容量評估方法[17]，並在該文件中具體提出「所謂的路線容量並不存在，鐵路設施的容量因使用型態而異」(原文：Capacity as such does not exist. Railway infrastructure capacity depends on the way it is utilized.)的主張，並指出「鐵路容量的分析必須奠基於該鐵路已排定的真實或情境班表之上」(原文：The basic necessary condition for capacity examination shall be the existing pre-constructed timetable (a real operational one or a case study) for train operation on the particular infrastructure)，以及「一段軌道尚具有剩餘容量並不同等於尚能夠容納更多的車

次」(原文：The existence of capacity leftover itself does not automatically mean the possibility of inserting additional train paths into a timetable)之觀念。國際鐵路協會於 2004 年提出的計算標準，明確指出鐵路沒有絕對的容量，而僅有相對的容量。相對於不同的班表，同一鐵路路線會有不同的剩餘容量。相對於不同的行車計畫(車種組成、停站模式等)，也會有不同的最大容量。而最大容量的評估，亦是以所排定的班表為評估的基準。因此評估鐵路容量時必須先排定可用班表。

路線容量評估的新方法[17]在提出之後為各國所接受，並經由產官學合作研擬在該原則下本土化的容量評估方法，例如丹麥 Technical University of Denmark [19-23]發展適合該國鐵路系統的方法以評估其鐵路容量使用的比例、分析可用容量被使用的狀況、以及表現路線容量使用狀況的方法。此外 University of Zilina 的 Gasparik[24] 亦為東歐斯洛伐克(Slovakia)建立路線容量評估方法。除了實作方法之本土化之外，學者亦在[17]所提出的架構下持續進行更多的研究。如 Abril et al.[25]在該架構下，分析列車速率、停站方式、車種的複雜性、號誌設置方式、與班表的穩定性如何影響路線容量。Harrod[26]則針對軌道上不同車速的混合車隊，研究其在營運時車速因素對容量的影響。Gorman[27]則以貨運列車為目標，研究機車牽引力、軌道條件、交會、待避、行車距離、車次發車時間間距、發車的不規則性如何影響路線容量之充份使用。Dingler, Lai, and Barkan[28]則深入研究車種的複雜性與路線容量間之關係。

在 1970 年代，受限於當時的電腦科技，鐵路容量計算之基本概念係將整個路線依車站、路段等分割成為獨立的片段，再考慮較特殊的處所如折返點、銜接點等，並就每一片段計算其容量。計算片段路線容量之方法大都基於該段軌道在

「一定時間」內能夠合理通過的列車數，亦即 $c = \frac{u}{h} \times n$ ，其中 c 為路線容量、 u 為該「一定時間」(例如 3600 秒)、 h 為運轉時隔，有時並將不同車種之不同時隔納入考慮、 n 為股道數。之後再仿串聯水管的概念，取各片段之容量中最小者作為全路線的容量，如圖 2.4-1 所示意。此種方法使用方便，在國內[29, 30]國外[18, 31, 32]均有應用。

利用此一方法所推導得到的容量為局部小區域的理論最大值。通常在運轉時，列車間由於網路效應而產生互制，因此並無法達到該最大行車密度。而此方法又無法考慮列車班表，故用以估計鐵路通過列車之能力時需要予以折減[18]。然而折減量之設定基本上為經驗值，並無堅實的理論基礎。折減過少將高估容量，造成路線容量尚未充份應用之錯覺，亦產生營運效能評估上之困擾。而折減過大又將造成實際交通量大於容量之怪異現象。由於此法僅局部評估鐵路各路段的狀況，無法容納大範圍路線甚至全系統在執行班表運轉時的考量，因此若干其他學者嚐試改用隨機模型以估計鐵路能容納的列車數之期望值[33, 34]，但在未能全盤考慮班表，亦未能直接納入列車互制現象的狀況下，效果仍然不理想。由於此方法考慮因素不足，過於粗略，UIC 已經於 2004 年公告不再作為標準[25]。

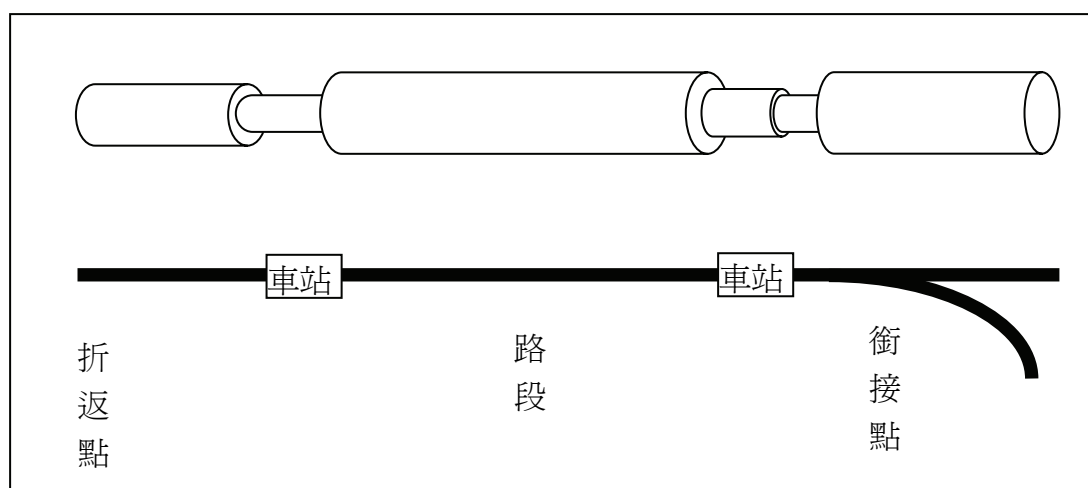


圖 2.4-1 鐵路容量方法估計示意圖(1970 年代方法)

觀察比較 UIC406[17]與 1970 年代後數十年來鐵路容量分析方法的演變，最新觀念與 30 多年前的觀念的基本差異整理列舉如下。

1.由片段的鐵路區間進而整體考慮全路線

在 1970 年代使用 $c = \frac{u}{h} \times n$ 公式，並對路線的各路段作個別容量計算，再以計算所得各路段容量之最小者作為全路線的容量，並以最小容量發生的地點作為路線的瓶頸路段。而 2004 以後的建議方法[17]則以研究範圍內全路線為考量之主體，不再考慮個別之鐵路區間，充份反映鐵路系統各處密切相互影響的特性。

2.列車互動之考量由前後車次間的時隔進而以完整班表為基準

早期的計算方法不但將鐵路區分為多數獨立的區間考慮其容量，在估計列車間之時隔時亦僅個別考慮兩列列車在一個區間的最小時隔。現今的方法則是以班表為基準，充份反映列車的網路效應。

3.納入廣義軌道資源的考慮

晚近鐵路容量分析方法由於以全路線為主體，並納入具體班表的考量，因此能夠同時納入廣義軌道資源的考慮。這些軌道資源包括號誌性能、股道佈設、各種不同停站模式或不同性能列車之比例與發車順序、列車車種之均質性[35]、理想發車時間的分佈等。

4.結合系統模擬以評估班表可靠度與運轉整理技術的影響

鐵路系統在營運時，由於人為操作、機械性能、系統電壓、外在環境等均有不確定性，因此不可避免將產生與既定班表不完全相符的狀況。而此時運轉整理技術將影響鐵路容量[36-38]。現今的容量分析方法，可以結合系統模擬技術以評估班表可靠度，並將運轉整理的影響[39]一併納入分析。

5.建立容量與班表可靠度關係曲線

過去數十年中，除了鐵路容量分析方法出現長足的進步之外，衡量鐵路容量的指標亦隨之而由早期簡單公式所求得之每小時列車數，進而採納了可靠度(或

期望準點率)的概念[19, 22, 38, 40]。鐵路容量分析的結果不應僅是單位時間內能通過的最大列車數，而是容量與可靠度之關係[40]。根據國際上不同鐵路系統分析結果，容量與可靠度之關係一般大略成相反關係，示意如圖 2.4-2[19, 22, 25]。亦即允許的容量愈大，可預期的可靠度愈低。相反的，允許的容量愈小，列車可預期的準點狀況愈佳。而各鐵路系統應依各自所要求的準點率，自行依據該曲線訂定合理的容量，作為營運的依據。而可靠度亦與車種組合有關[35]，大抵車種愈單純，交會與追越愈少，班表愈容易達到高可靠度。

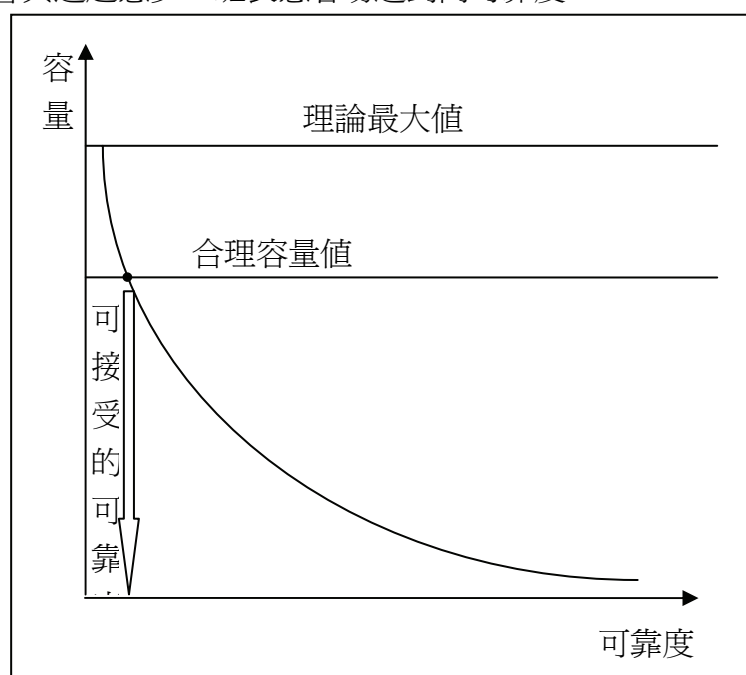


圖 2.4-2 路線容量與可靠度關係示意圖

2.5 運轉模擬相關技術相關文獻

大部份真實之軌道系統均龐大而複雜。雖然在規劃階段已縝密安排所有車次的詳細運轉方式及時間分配，但在執行時由於乘客、司機員、調度員、號誌系統、機械系統、外在不可抗力等各方面之隨機因素，使得軌道系統各車次並無法完全依照既定的班表精準運行。數學上軌道系統上諸多列車的運轉可視為一複雜的隨機程序(stochastic process)。在若干簡化假設下，這個問題可以用隨機數學模式描述之。例如英國的 British railway network 之列車誤點量之機率分佈成 q-exponential distribution，可以用 $e_q(x) = (1 + (q-1)x)^{1/(q-1)}$ 表示[41]。而 Higgins 與 Kozan[42]則是在簡化假設下推導列車誤點傳播的數學隨機模式，並與模擬結果相比較。這些簡化假設大抵均要求列車的誤點量必須為某些特定的機率分佈，或/且隨機誤點事件互相獨立。這些過強的假設使得其成果僅具有學理上的價值，距實務應用甚遠。

隨著近年來電腦技術的發達，模擬技術亦快速發展，並逐漸達到實用價值。

李治綱等[43]即以事件推移的原則模擬捷運系統列車之運行，藉以評估各種運轉整理方法的效能。此一方法較不受數學技術之限制，但也因而僅能得到數值結論，無法得到隨機程序模式之解析解。一個強大的模擬系統可以為營運單位帶來許多重要的效用。模擬系統可以在相對低廉的成本下快速進行情境分析，預估在各種不同的情境下系統的運轉效能。這種能力可用以評估鐵路系統在不同軌道佈設狀況下對營運所帶來的可能影響。在另一方面，模擬系統亦可用以評估同一軌道系統在不同班表下的運轉狀況。這些模擬的結果有助於比較在各種不同狀況下營運效能之優劣，或評估某些策略是否能達到營運上的最低要求。此外，模擬系統可以重現歷史，允許評估者在完全控制環境的狀況下多次重複模擬，以確實掌握隨機事件的影響。同時模擬系統也允許分析者在觀察到重要現象時能夠回溯歷史以深入分析其原因及影響，此為真實系統所不可能達到者。

模擬系統可以產生許多有用的資訊。一個全系統運轉模擬可以在過程中完整而無誤差地記錄下所有車次在所有車站的到站及離站時間，作為評估運轉狀況的重要依據。對模擬結果的適當分析不僅可以得到各車次營運過程中在各車站的準點率，更重要的是能夠提供整體的趨勢。

大抵上一個軌道營運模擬系統需要包含以下四個基本模組：

- 1.軌道設施管理模組：供使用者設定軌道條件、股道佈設、車站位置等軌道設施之狀態。
- 2.班表管理模組：供使用者設定所欲模擬的行車班表，以及隨機事件發生的機率及引發的誤點量之大小。
- 3.模擬引擎模組：此為實際執行模擬的模組。在模擬的過程中這個模組在軌道系統上依據運轉規則與既定的班表推進所有的車次，同時依使用者的設定，在系統中產生隨機事件並納入系統的模擬中。
- 4.統計分析模組：此模組記錄模擬的過程並依使用者的需求產生統計資料。

由於模擬系統具有高度的實用性與彈性，類似的系統被廣泛使用於各國。日本 Tomoeda 等人於 2008 年發展 KUTTY 模擬系統[44]。有別於大部份的軌道營運模擬系統均以列車為主體，該系統之最大特色為能夠模擬乘客在誤點或事故等事件發生時之轉乘行為，有助營運單位在需要時擬定旅客疏運計畫，並評估各種不同的疏運計畫之可能績效。丹麥亦使用模擬方式評估哥本哈根(Copenhagen)市區鐵路系統的班表穩定性[45]。荷蘭則早在十餘年前即著手發展模擬系統以在排定班表時評估其穩定性[46]，甚至用以輔助運煤鐵路系統之營運[47]。模擬系統也曾在歐洲用以評估鐵路與其他陸上運輸系統間的貨物轉運[48]。

Simulation Model for Networks (SIMONE)[49]為美國的 ProRail[50]與荷蘭的 Incontrol Enterprise Dynamics[51]所合作開發的軌道營運模擬系統。該系統使用了德國的 Schlenker[52]所發展的分散式處理方法，利用多台電腦同時計算的方式處理大量的運算量。這個系統具有產生班表的輔助功能，並能模擬軌道系統的運轉。在美國軍方的補助下，Hallowell 與 Harker 發展了用以評估班表的可靠度的方法[53]，可以評估雙向行車的雙線軌道系統因交會與待避而產生的誤點量。因為其

考慮因素較少，因此實用價值較受限，但研究成果仍有其價值。此外，Funkwerk[54]與 Innovative Scheduling[55]所發展的系統亦有若干系統模擬之能力，而 RailSim[56]、Rail Traffic Controller[57]、RailSys[58]、OpenTrack [59]等商用軟體亦均有軌道模擬之功能。

第三章 臺鐵系統不定期列車營運現況

本章針對臺鐵系統不定期列車業務，歸納其相關課題並提出分析。首先在 3.1 節將對臺鐵系統中各種不定期列車加以分類，之後於 3.2 節至 3.4 節說明其申請作業之流程與規定。後續之 3.5 節統計 100 年度不定期列車需求狀況，3.6 節則說明臺鐵局內部與不定期列車業務相關之組織。最後 3.7 節整理分析局內不定期列車之作業流程及其複雜性，而 3.8 節則提出本研究對不定期列車之作業流程之改善建議。

3.1 不定期列車分類

臺鐵系統中，依不定期列車作業程序規劃調度，或於臺鐵局官方網站中歸類於包車之車種有 6 類，為：團體列車、專開列車、郵輪列車、兩鐵列車、軍運列車、與計畫性加開列車，整理於表 3.1-1。這些列車作業程序相關規定相當複雜。大抵可分為先排定編組與班次再接受訂票、加掛車廂附掛於現行列車，或加開專屬列車三種型態。其中第一種大都無乘員人數下限，計費方式也與一般乘客類似。而後二者則有最低人數的定員限制及最低計費里程。

這 6 類列車雖然均與包車有各種不等程度之關聯，但並非全然非定期排定。其中團體列車、一般兩鐵列車、團體兩鐵列車均在編排定期列車班表時即已納入，且在公告後接受一般大眾乘客購票。因此就其作業性質而言，較接近於一般定期列車。而郵輪列車雖納入訂票系統公開售票，惟其作業型態接近不定期列車，仍屬定期班表外加開車次。至於兩鐵列車營運型態之一為接受團體之申請而加掛車廂。此一型態係將加開之車廂附掛於定期列車而非另行加開不定列車。而定期列車班表中亦無專開列車以及專列兩鐵列車；兩者均係應特定團體之申請而開行，均需加開列車。計畫性加開列車則是在春節、中秋節等特殊需求假日，由臺鐵局內部提出需求與開行規劃，經內部作業後向大眾公告而接受購票。雖然購票程序及服務對象與定期列車無異，但班表排定與人員、編組調度之作業程序較接近不定期列車，因此本研究亦將其納入研究範疇中。最後，軍運列車為國防部所專用，其性質、需求均較為特殊，不納入本報告討論。

表 3.1-1 臺鐵不定期列車分類

分類		說明	申請使用程序	班表外加開車次
團體列車		團體票優先且無比例限制	申購團體票	否
專開列車		應特定團體申請而開行	申請加開列次	是
郵輪列車		開行特定之列車，選定數個可以停留賞景之車站，各作一段時間之停留	購票	是
兩鐵列車	一般	開放人車同行	購票	否
	團體	包用區間車車廂	申購團體票	否
	加掛	加掛人車同行車廂	申請加掛車廂	否
	專列	加開專列	申請加開列次	是
軍運列車		國防部申請	申請加開列次	是
計畫性加開列車		特殊節日加開	購票	是

資料來源：本研究整理

在這些列車種類中，郵輪式列車性質較為特殊。不同於一般列車到站即開之模式，郵輪式列車以類似遠洋郵輪停泊於各港口一段時間再續開往下一港口之方式，選定數個適合停留賞景之車站，作一段時間之停留，讓旅客下車欣賞車站週邊風光後，再開往下一目的地。這些列車接受電話語音以及電腦網路訂票，但每人限購 6 張票，並於訂票後到各電腦售票車站取票。郵輪式列車不發售無座票、單程票，亦不受理單程票退票，且有集點換贈品活動。

3. 2 團體列車申請作業流程及規定

如由運轉之出發點觀之，團體列車較類似一般定期列車，排有一定行程。一般列車受理訂購 10 人以上團體票有 30% 之額度限制，而團體列車則不受此限制，且以團體訂購優先。這些列車全數提供團體使用，按申請順序額滿即停止受理。團體列車於乘車日前 12 日至 2 個月內訂票預約，並於預約後 4 日內繳付每人全票 20% 之預約金。預約金繳付後 10 日內需繳清票款。乘車日 12 日內，若有未發售之座位，則開放提供一般旅客使用網路或語音訂購。

表 3.2-1 臺鐵開行團體列車統計

車次	發車	收車	備註
71	花蓮(17:30)	樹林(20:33)	每日行駛
72	樹林(06:27)	臺東(12:52)	週五至週一行駛，附掛人車同行車廂
73	臺東(15:38)	樹林(22:06)	週五至週一行駛，附掛人車同行車廂
74	樹林(06:48)	花蓮(09:55)	每日行駛

註：均為莒光號

資料來源：[60]

3.3 兩鐵列車申請作業流程及規定

所謂兩鐵列車指臺鐵局為配合政府推動「節能減碳零污染」之自行車騎乘活動，結合臺鐵、鐵馬雙運具，提供民眾以鐵路為交通運具，載乘人、車同時抵達目的地。



資料來源：[60]

圖 3.3-1 人車同行車廂

臺鐵所提供的兩鐵列車分為一般、團體、加掛、專列 4 類。其中佔數量最多的為一般兩鐵列車。此類車上攜帶自行車之乘客均與一般乘客混乘，每班次限 30 人+30 車、20 人+20 車、或 8 人+8 車。申請時一人一車即可受理，而所攜帶之自行車以全票 5 折計費。各站得視實際情形，降低受理數量或暫停受理。

團體兩鐵列車則為在以電車開行之區間車接受團體包用部分車廂，供非折疊

式自行車使用，但至少需 30 人+30 車始得申請，而若超過 50 人+50 車則以二節車廂計算票價。這些列車之計費亦依包用區間計算，但不滿 60 公里以 60 公里計。達 50 人+50 車時人員與自行車均各以全票 5 折計費，達 25 人+25 車時人員以全票 65 折、而自行車以全票 5 折計。

兩鐵列車加掛指臺鐵局提供少數人車同行車廂供團體包用附掛於現行莒光號列車，但不受理附掛於團體列車。此類列車數量不多。這些車廂每輛車以 15 人+15 輛自行車為基本定員，依包用區間計費，但不滿 100 公里以 100 公里計。

在各種兩鐵列車中，與本研究最為相關者為專開之兩鐵列車，供非折疊式自行車，人車同行之區間車專開列車。其申請以一編組為單位，定員 240 人，以 120 人+120 車計算。人車均依全票 5 折計費，並以 100 公里為起碼計費里程。

3.4 專開列車申請作業流程及規定

專開列車指不在定期班表中，而應團體或個人申請所開行之列車。此種列車為本研究主要探討對象。臺鐵局專開列車採定員申請制，亦即申請人團體依人數需求，選擇車種及適合的固定員額來作申請。其總票價為車種費率、乘車里程(尾數進整)、以及定員人數三者之乘積。而里程未滿 100 公里者以 100 公里計費。

表 3.4-1 臺鐵專開列車定員人數規定

車種	車廂數	基本定員	每次增加定員
推拉式自強號	12	568	不可增加
莒光號	5	232	1 節 48 人
復興號	5	268	1 節 56 人
商務車自強號(註)	商務車 3 節、客廳車 1 節、餐車 (不計費) 1 節	126	1 節商務車(33 人) 或 1 節客廳(21 席+卡拉 OK 室旋轉椅 6 席)

註：每列次固定 2 名服務員，合計 600 元服務費。

乘車里程以一往返計算，600 公里以上 9 折、800 公里以上 85 折

資料來源：[61]

專開列車需要提前申請。申請人於乘車日 20 天前起至 2 個月內在臺鐵局網頁登錄申請資料。受理後臺鐵局於三個工作天內回覆。經局內作業完成後再通知申請人，並於通知日起 4 日內持身分證明文件至各車站繳付 20%預約金，並於乘車日 10 天前完成繳款，再於乘車日 3 天前完成取票即完成購票。

在申請後如需變更，依規定單一行程之車廂、乘車日、停靠站及時刻等僅可變更一次。車廂數之變更至遲應於乘車日 7 天前申請，且變更後仍須符合基本定員。而減購之車廂數，其已繳之預約金不予退還。若擬變更乘車日，則變更後之乘車日，仍須為可受理期限 2 個月內。若不變更乘車日，僅變更時刻，則須於乘車日 10 天前申請。退票則按定員數票價 2 成核收退票手續費，且至遲須於乘車日 3 天前辦理。

3.5 不定期列車之需求

依據本研究訪談所得資料，臺鐵局於今年一至七月所開行之專開列車以及計畫性加開列車合計共 296 列次，平均每日約 1.4 列次，整理於表 3.5-1。在需求方面，訪談結果發現，一般而言若在春節等特殊需求期間，申請專開列車獲通過之機會不到三分之一。但若為平常日，則通過機會甚高。

表 3.5-1 臺鐵一至七月不定期列車每月數量統計

月份	一	二	三	四	五	六	七
列次	11	24	55	57	44	47	58

若以車種區分，則在一至七月中以莒光號之列次數最多，約佔總數之半，並超過其他所有車種之總和。其次為復興號，接近總數之四分之一。再其次為電車。以上三種列車合計佔總數百分之 90 以上。相關資料整理於表 3.5-2。

表 3.5-2 臺鐵一至七月不定期列車車種數量統計

車種	太魯閣	自強	行包	區間	莒光	復興	普通	電車
列次	2	1	2	14	172	56	9	40

在各不定列車的行程方面，表 3.5-3 統計了部份車站在今年一月至七月之間行經的不定期列車數量。數據顯示經過臺北、宜蘭到東部之區間，以及花蓮、臺東之間的需求最大，而位在這兩條路線交點之花蓮有最高之通過不定期列車數量。

表 3.5-3 臺鐵一至七月部份車站不定期列車通過數量統計

車站	宜蘭	臺北	桃園	臺中	大甲	高雄	臺東	花蓮
列次	94	88	42	45	18	84	58	161

3.6 臺鐵局相關組織

不定期列車之相關業務主要由運務處負責。在運務處下，又設有綜核科(物料、稽核等)、運轉科(保安、事故處理等)、營業科(業務、服務、客訴等)、綜合調度所、行控室、票務中心、各運務段(臺北、臺中、高雄、宜蘭、花蓮)、各車班組(基隆、臺北、新竹、彰化、嘉義、高雄、宜蘭、花蓮)、及各車站。

在運務處轄下之各單位中，與不定期列車相關之主要單位為營業科與綜合調度所。其中綜合調度所綜理臺鐵局所有列車排點、線上調度、運轉整理等業務，下設有所長、副所長、人事主任各一人，以及綜合組、客車組、貨車組、配車台、行車組、計畫組、機車值班、客車值班、貨車值班、行車值班等。其中直接負責不定期列車相關業務之單位為計畫組、行車組、與客車組。而營業科下與不定期列車直接相關之單位則為客座股、業務股與規劃股。

3. 7 臺鐵現行不定期列車作業流程分析

本小節蒐集並分析臺鐵現行團體列車、專開列車、郵輪式列車、兩鐵列車、計畫性加開列車等各種不定期列車申請作業流程，範圍涵蓋列車排點、機班、車班編組等課題。基於各種不同不定期列車之性質差異，其作業流程亦有所不同。在專開列車與團體列車方面，係由乘客團體向臺鐵局提出申請。於接到申請後，即由運務處營業科客座股進行資料建檔，並判斷是否受理。而郵輪列車與兩鐵列車之作業流程與上述專開列車類似，但係由車站與運務段提出申請，之後由運務處營業科業務股進行資料建檔，並判斷是否受理。至於軍運列車由國防部提出申請後，資料建檔以及判斷是否受理則由行車組負責。最後，計畫性加開列車係由車站與運務段提出申請，經規劃股規劃並建檔後直接受理。

不論是何種不定期列車，在受理申請後均由運務處綜合調度所之計畫組與客車組擬定派遣計畫。若屬計畫性加開列車等公開發售車票之列次，則於完成派遣計畫後由營業科公告並進行售票。而派遣計畫之審核，係由客車組負責編組審核，由計畫組負責行點審核及車班審核，由機務處負責機班審核，最後由計畫組擬定草案。

在整個作業流程中，與本研究關係最密切者為軌道列車營運所需要之最重要資源：人(司機員)、車(列車編組)、及路(軌道資源)之調派，而此亦為整個作業流程中最關鍵的工作項目之一。以下以此 3 項資源為中心，逐項說明之。

1. 列車編組調度課題

列車編組之調度作業為相當複雜之工作。假設某車次由海線之大甲站發車，經臺南、高雄、臺東、花蓮、臺北再回到大甲站的莒光號列車。該列車編組需於出發前以電力機車拖行，由彰化機務段向北空車迴送到到大甲站，搭載乘客後向南行駛。至新左營站時更換柴電機車，行駛至臺東。而原電力機車則於新左營站摘掛後運用變更。若無適當之機車運用則迴送到彰化。由於柴電機車需要加油，為避免耽誤乘客行程，臺鐵將於臺東站更換另一柴電機車繼續拖行至花蓮。原來自新左營之柴電機車則在臺東站加油後迴送到新左營原基地。列車行駛至花蓮後，柴電機車摘下迴送臺東，列車則更換為電力機車，直接行駛至大甲站，亦有可能於七堵再更換另一電力機車，以利原機車迴送花蓮。列車行駛回到大甲站，下客後整車迴送到彰化機務段，摘下客車，其機車再變更執行後續運用，或迴送原基地，方完成整個任務。不論在七堵是否更換機車，最後之迴送里程均類似。

類似上述狀況之不定期列車不乏其例。如 100 年 6 月 11 日 8831 次莒光號於 07:12 由沙鹿發車，經臺南、高雄、南迴線至臺東。而沙鹿站並無車輛基地。在此狀況下需要在事前由附近的彰化機務段空車迴送到沙鹿站發車。而該車次於 16:32 在臺東收車後，編組亦需迴送彰化機務段。在同一天，1242 次莒光號由臺東南側之知本，在上午 8:00 發車，向北行駛於 11:55 抵達花蓮，停留 25 分鐘後於 12:20 離開花蓮站，繼續北行於 13:25 抵達羅東，停留 2 小時後於 15:25 離開羅東站，15:40 到礁溪站，停留至 18:10。之後 19:16 到七堵更換機車，經臺北、

臺中、彰化，最後於深夜 00:50 在高雄收車。此類之車次均在行程當中該車次跨越電化與非電化區間，造成多次更換機車、多次迴送之需求。

2.機班調度課題

在不定期列車之調度作業中，機班(司機員)之調度亦相當複雜。通常不定期列車由備勤機班擔任司機員，因此若無法在適當的時間與適當之地點覓得適當之機班人員，則不定期列車之安排作業將非常的困難。列車旅程較長時，限於機班人員之最大工時與安全性之考量，經常需要在途中更換機班，亦增加作業之難度。其中部份複雜性來自機車特性之需求。例如電力機車或電車通常僅需一名司機員即可駕駛。但部份柴電機車則需司機員以及司機助理各一名方能安全駕駛，增加了機務段調度司機員的難度以及工作負荷。

機班人員受到規章限制以及體力之限制，其連續工作之能力遠不及機車的機械性能。依規定[62]，司機員連續乘務距離不得超過 300 公里。實務上爲了在駕駛列車時能維持理想的專注能力，通常均避免機班人員連續執行三小時以上之乘務。而不定期列車本身有其載客任務，不可能暫停行車等待司機員休息。因此必須於列車行經適當機務段時更換司機員。執行前一段乘務之後換下來之司機員，可以在在不違反每日最長勤務時間的條件下，經過一段休息時間後執行另一段乘務。若是定期列車，則排班時均儘量利用這第二段乘務使司機員回到其所屬之機務段。但在不定期列車之狀況下，則不易安排回程之乘務。人員若無適當之不定期列車可供駕駛，則需便乘回到其機務段。而便乘亦佔用人力資源，工作負荷亦比照乘務計算，造成額外之人力與成本負擔。

3.軌道資源課題

任何列車在系統中運行時均需使用股道之時-空資源，不定期列車自不例外。而排點工作即是在將可用的股道資源分配予系統中所有列車使用。

不定期列車對軌道資料之使用往往大於一般定期列車之需求。如前所述，行程較長之不定期列車往往需於途中更換機車；尤以列車跨越電化、非電化區間時，更需要更換不同動力之機車。而動力車輛迴送時若非採無火迴送方式，則需排定機迴車次，亦需佔用軌道資源。再者，若列次之發車或收車站不在機務段，則在載客前後亦各需要安排迴送車次。此外，專開列車配合申請者需求，有些車次於特定站停站較久，例如 100 年 4 月 9 日 8881 次莒光號於 07:21 自樹調站發車，於 9:03 抵達福隆。在福隆離站時間爲 10:35，停留達 92 分鐘。最後於 14:40 到花蓮站收車。在長時間停車期間若股道另有其他列車通過，則該不定期列車需要開行至附近適當車站停留。而這些往返亦需佔用軌道資源。

臺鐵系統軌道資源並不充裕，而需求量甚高。因此定期列車之行車已經甚爲密集。在此狀況下欲在既有之定期列車班表中加入額外之不定期列車，同時又達到儘量不影響既定班表之要求，難度甚高。再加上如前所論，不定期列車對軌道資源之需求往往高於一般定期列車。因此在儘量配合申請者需求的使命下，實務上不定期列車的班表中，時隔不足之狀況並不罕見，亦即習稱之「壓點」現象。這種現象對實務行車並不造成安全上之顧慮，但卻影響班表之穩定程度，直接衝

擊系統之準點率。為此臺鐵局實務作法主要是利用事前之運轉整理，或營運中運轉整理以減少其影響。惟壓點對班表穩定度之影響如何評估，文獻中並無適當之方法可用，臺鐵局亦以經驗為主，並無具體之準則可資遵循。若為計畫性加開，因為係由局內主導，因此較能與原定期列車之行點作良好之整合。

3.8 臺鐵現行不定期列車作業流程改善建議

臺鐵局對不定期列車業務至為重視，嚴格要求所屬單位縮短作業流程，以符合外界之期待。表 3.8-1 所示為其內部作業流程及作業期限。申請人依本報告第 3.2 節至第 3.4 節之規定提出申請後，即由局內相關單位人員進行一連串作業程序，直至完成回覆。各種不同性質之不定期列車有不同之負責單位與作業程序，整理於 3.7 節。

表 3.8-1 臺鐵現行不定期列車作業流程

流程	負責單位	處理時限	
提出申請	註		
資料建檔		1-2 日	7-14 日
判斷受理			
擬訂計畫	計畫組	4-8 日	
編組審核	客車組		
行點審核	計畫組		
車班審核	計畫組		
機班審核	機務處		
草案產出	計畫組	2-4 日	
回覆結果	註		
公告/繳款			

註：參閱 3.7 節。

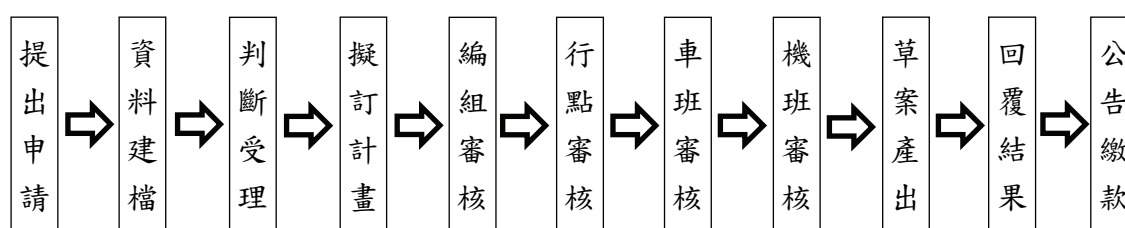


圖 3.8-1 不定期列車作業程序

不定期列車申請人對臺鐵局最主要之期待為快速之回覆，以便配合規劃行程之其他部份，或於申請未通過時改變旅行計畫。在外界的期待下臺鐵局已將內部作業期限由稍早的約 1.5 個月限縮至 14 工作天，其各階段之時間分配如表 3.8-1 所示。其作業程序如圖 3.8-1 所示；在時限大幅縮短的同時，作業程序並未大幅變更，因此對相關人員造成相當之壓力。申請案件經判斷受理之後，在規定的期

限內，負責的計畫組人員需要擬定該趟不定期列車之計畫，後於編組審核階段排定其所使用的編組、於行點審核階段排定該列車之時刻表、於車班審核階段安排列車長、於機班審核階段安排司機員。其中任一階段無法通過，均使流程退回擬訂計畫之階段，修正後再重新進行。

訪談結果發現於各項審核流程中較無彈性者為行點與機班之安排。前者受到臺鐵系統原本即已相當擁擠之班表限制，所餘可供不定期列車使用之時間帶原本即不多，而後者如 3.7 節所說明，受到相關規章之限制，機班人員需依規定輪替與迴送，大幅增加了問題之複雜性，且人員乘務排班相關規定之彈性極小，亦增加了安排調度上之難度。如該不定期列車需要機車牽引，則尚需由機務處排定機車運用計畫如圖 3.8-2 所示。

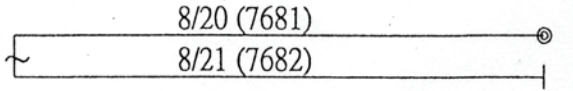
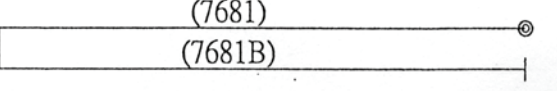
段 (站) 工作 班號	(一) 臺北機務段	
	花蓮	樹調
41 ER 01		
段 (站) 工作 班號	(二) 花蓮機務段	
	光復	花蓮
41 RR 01	8月20日(1天) 	

圖 3.8-2 不定期列車機車運用計畫示例

上述作業程序之各階段除了各有其複雜性之外，並環環相扣。而編組、行點、車班、機班之排定，各自均為複雜之問題，以人工作業為主時不可能集中於同一單位，甚至同一人員負責。為提高作業效率，目前不定期列車計畫之排定係由綜合調度所整合整行，而由機務處指派人員直接參與作業。如此之作業模式，亦指出未來亟需改善的方向為工作之整合、以及真正具備決策輔助功能軟體工具之建立。

基於以上觀察與分析，本研究之作業流程改善建議說明如下。在短期立即可行方面，建議略為調整作業流程與作業方式如圖 3.8-3 所示。計畫組於擬訂計畫並排定行點之前，先排定大略行點範圍。並在此範圍內先由運機務處提供可用機班之狀況，並由客車組提供可用編組之狀況。此二單位之資料提供可以同時進行。資料到位之後，則由計畫組在「擬定計畫」之階段即排定所有的行點、機班、車班、與編組運用。而後續之編組審核、行點審核、車班審核、與機班審核階段則

僅作複核與確認。如此若在可用編組與可用機班之容許範圍內順利找到可行方案，即可製作草案，完成作業。

就中期改善策略而言，臺鐵局預期將於本(民國 100)年底完成「列車加開、掛派遣系統」之建置。該系統預期將可大幅縮短計畫組為取得可用編組與可用機班狀況所耗費之時間。配合此一新軟體工具之建置，本研究建議臺鐵局將本研究開發之不定期列車排班模式建置成為決策輔助系統。這些資訊系統之配合，可望再大幅縮前述改善作業流程。更有進者，前述「列車加開、掛派遣系統」之主要功能在自動查詢指定時段之可用編組與可用機班。因此可持續發展本研究之不定期列車排班模式，使其能在排定不定期列車行點的同時一併納入編組與機班之限制。於建置資訊系統時再配合使「列車加開、掛派遣系統」之輸出資訊直接拋轉予不定期列車排班決策模式，則可使圖 3.8-3 所示之大部份作業程序均達到自動化與最佳化，成為具備強大功能之決策輔助系統。

就整體營運面觀之，不定期列車業務為臺鐵營運之一環。因此在長期策略上，建議將不定期列車作業流程整合於未來的自動排點軟體系統中，由電腦產生多數完整之替代方案以供作業人員選擇取用。

表 3.8-2 臺鐵建議不定期列車作業流程

流程	負責單位	備註
提出申請	註	
資料建檔		
判斷受理		
排定大略行點範圍	計畫組	
提供可用編組	客車組	同時進行
提供可用機班	機務處	
擬定計畫	計畫組	
編組審核	客車組	同時進行
行點審核	計畫組	
車班審核	計畫組	
機班審核	機務處	
草案產出	計畫組	
回覆結果	註	
公告/繳款		

註：參閱 3.7 節

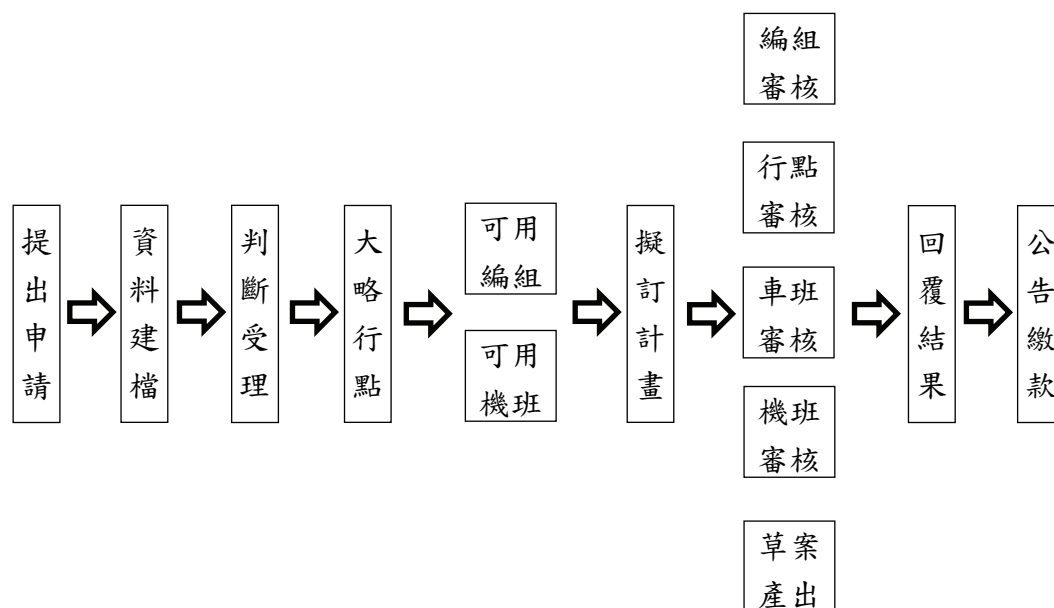


圖 3.8-3 不定期列車機車運用計畫示例

第四章 增加包車班次之列車排班模式

4.1 概說

本章構建用以分析臺鐵現行營運班表下增加包車班次之列車排班模式，其目的在不影響定期班表、或給定之影響容忍程度限制下，解析可容納之列車排點方案。本模式可供臺鐵營運之參考，並可進一步作為未來自動化決策輔助系統演算核心之基石。

此一問題為給定一個可行無衝突列車班表，在其中依指定的理想發車時間以及行程、停靠站等安插額外一列次的新增列車。類似的模式並可用於特殊節日、甚至運轉整理。對此一重要問題，國際上文獻並不多見，本報告第 2.3 節已有回顧 [13, 14, 63]。本節將由學理著手，定義此問題並提出求解方法之理論基礎。在本報告中，所給定之列車班表稱為背景班表，而欲安插之額外列車稱為新增列車。本節之模式假設背景班表含有完整之資訊，包括所有列車通過所有車站所使用之股道、以及進入與離開每一區間之時分。

任一求解列車班表之數學模式均需要資料與參數之輸入。若應用於真實問題，則所需之真實資料為數龐大，模式求解成果之品質更受到輸入資料精準程度影響甚鉅。本研究之目的在發展模式，對資料與參數之精準程度並不深入討論之。

4.2 問題定義

考慮一個給定之背景班表，以及一列新增列車。假設新增列車所行經的車站、經過各車站之順序、於所經過各車站之任務(停靠或通過)均已給定。增加包車班次之列車排班模式之目的在求解如何在背景班表中納入新增列車，同時又使新班表滿足所有要求。

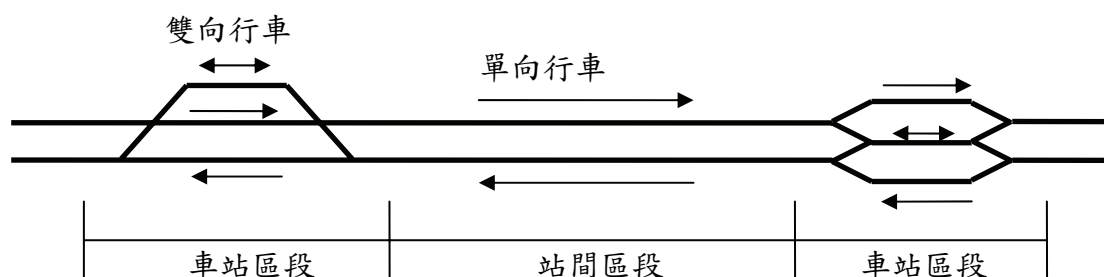
在數學上本問題可以分為求解列車路徑，以及求解列車行點兩部份。所謂列車路徑指列車在給定的班表中，由其起點車站到終點車站所行經的所有股道之有序集合。而所謂列車行點指列車在每一行經之車站的到開時間。在得到列車路徑之後，即可據以求解最佳之列車行點。

4.3 軌道模型與車次模型

本研究所使用之軌道模型與 Lee and Chen[9]相同，在此作一簡要描述。本模型中鐵路為區段(link)、股道(track)、與區間(block)所組成。其中區段為一個車站，或相鄰車站之間的一段路段，如圖 4.3-1 所示意。股道為區段中並聯的鐵路，如圖 4.3-2 所示意。同樣示意於圖 4.3-2 為區間，其定義如下：

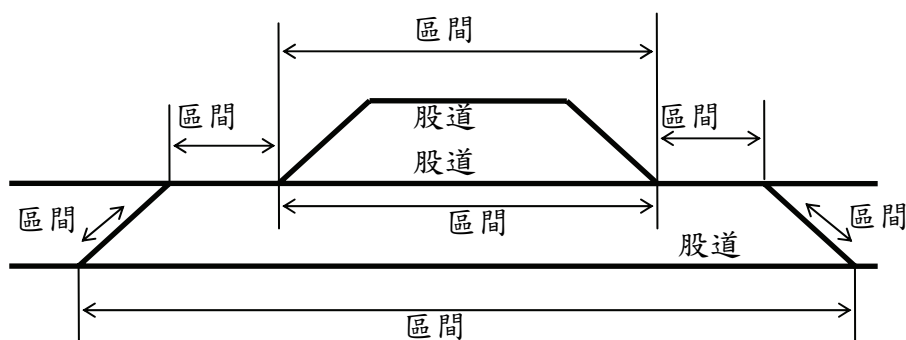
定義：區間指在任一時間僅能容納至多一列列車之一段鐵路。

此處對區間之定義與常用之閉塞區間並不完全相同。在本研究之定義下，每一閉塞區間均為一區間，但任一區間不一定為閉塞區間。例如圖 4.3-2 中屬橫渡線之區間即為區間，但不為閉塞區間。



資料來源：[9]

圖 4.3-1 區段定義示意圖



資料來源：[9]

圖 4.3-2 股道與區間定義示意圖

在本研究之車次模型中，一趟車次定義為一次的列車運行過程，為多數區段之有序集合。例如，一趟車次由臺鐵臺南車站至沙崙車站，列車行經的車站依序為：臺南、保安、中洲、長榮大學、沙崙。依本研究之車次模型，該車次即為下列區段之有序集合： $\{ \text{臺南站}, \text{臺南-保安站間}, \text{保安站}, \text{保安-中洲站間}, \text{中洲站}, \text{中洲-長榮大學站間}, \text{長榮大學站}, \text{長榮大學-沙崙站間}, \text{沙崙站} \}$ 。

每一車次排入班表中時，需要為該車次求解得適當之路徑。本研究定義路徑為一組多數區間之有序集合。當車次在其行經的每一區段中所使用之股道均確定時，該車次之路徑亦告確定。

4.4 新增列車路徑數學模型

本研究使用一個最短路徑模型以在一個給定的可行班表中解得新增列車的路徑，方法說明如下。考慮圖 4.4-1 之簡單車站。該車站位在南北向之單線區間，且僅有二股道。



圖 4.4-1 簡單車站示意圖

考慮圖 4.4-2 所示之一個給定背景班表之運行圖的一部份，橫軸為時間，縱軸為空間。中間所顯示的車站 S 為圖 4.4-1 之簡單車站型式。假設在給定的可行班表有 a 及 b 兩車次行經車站 S，依序使用股道 1 及股道 2。依圖示，車次 a 由南側進入車站 S 股道 1，停留一段時間後向北離站。之後車次 b 再由南側進入車站 S 股道 2，亦在停留一段時間後向北離站。現再假設欲插入之新增列車欲在車次 a 之前先進入車站 S，並在車次 b 之後離開車站 S，亦即新增列車在運行圖中之軌跡欲由圖 4.4-2 所示之 A 區連至 B 區。則在完全不變更既有之車次 a 與車次 b 之路徑的條件下，不論班表行點如何安排，新增列車均不可能有路徑通過車站 S，亦即存在有與行點無關之衝突。

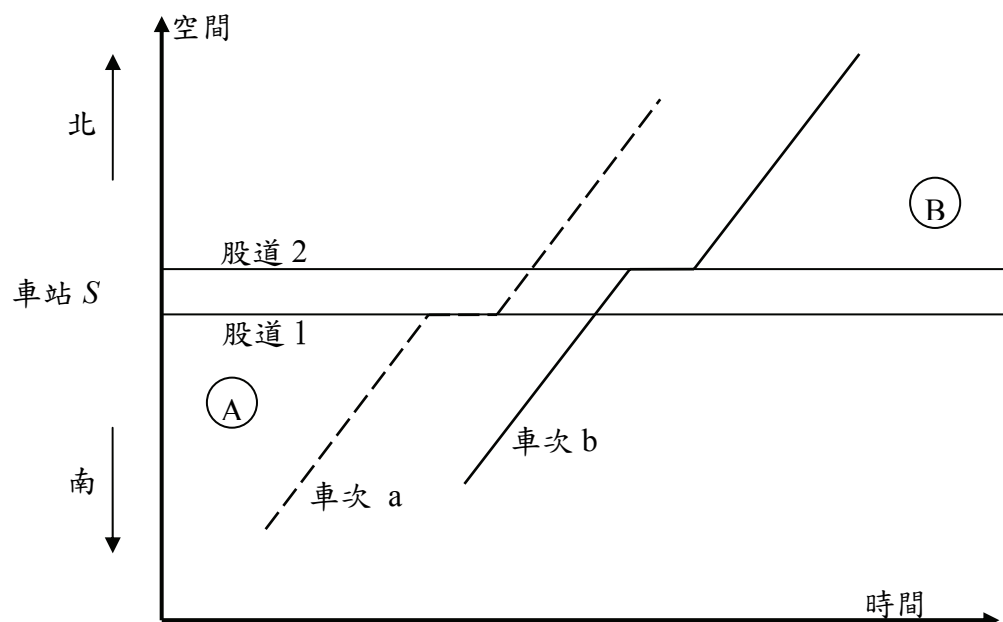


圖 4.4-2 新增列車路徑示意圖(一)

另一種狀況如圖 4.4-3 所示。與圖 4.4-2 類似，但車次 a 進入車站 S 股道 1 之後，車次 b 進入股道 2。隨後兩車次再以相同順序向北離站。此時由運行圖中

之 A 區至 B 區之間無任何路徑存在，因此若新增列車欲由圖 4.4-3 之 A 區行駛至 B 區，將不可避免產生衝突。而此狀況與所有車次之行點無關。

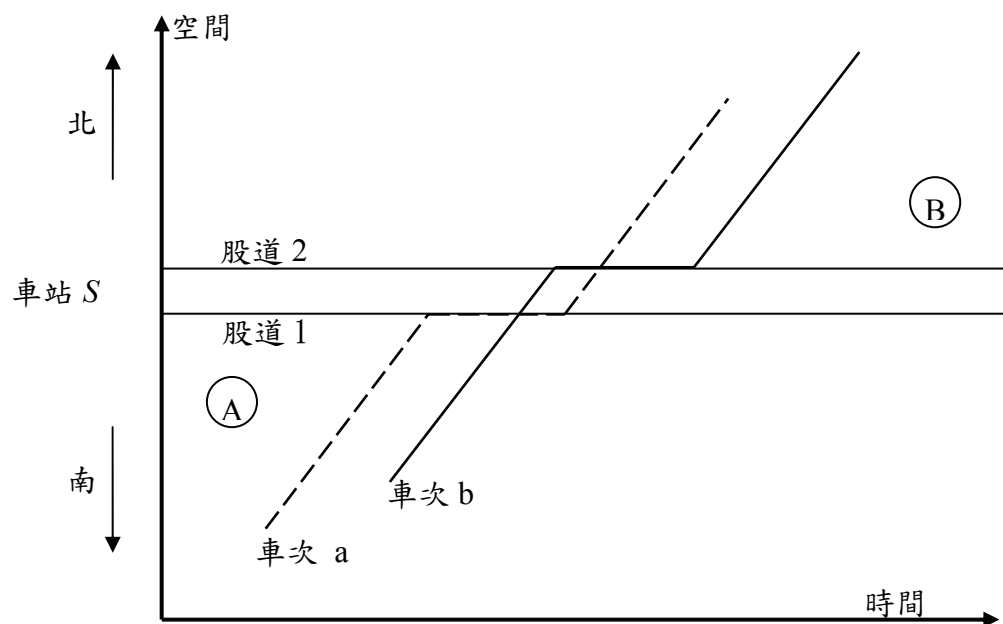


圖 4.4-3 新增列車路徑示意圖(二)

第三種狀況如圖 4.4-4 所示。在此車次 a 與車次 b 進出站之狀況與圖 4.4-2 所示相同，但二者均使用股道 1。此時由圖中 A 區至 B 區即存在有路徑，供新增列車以股道 2 通過車站 S。

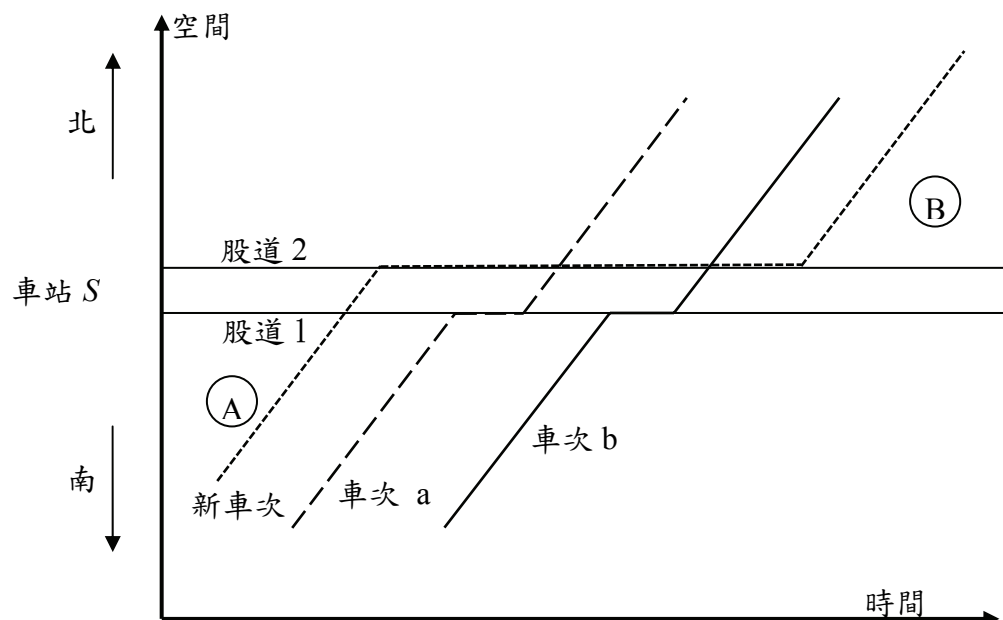


圖 4.4-4 新增列車路徑示意圖(三)

以上之分析可歸納下列性質。

- 1.性質 4.4-1：考慮通過任意車站 S 之任意二車次 a 與 b 。若且唯若 a 與 b 進入車站 S 之順序與離開車站之順序不同，而使用同一股道，則 a 與 b 於車站 S 產生與行點無關之衝突。
- 2.證明：若 a 與 b 於車站 S 使用不同股道，則必存在有不產生衝突之方式使其通過 S 。假設 a 與 b 於車站 S 使用相同股道，令為 t 。若二車進入車站與離開車站之順序相同，則可以該順序使用股道 t 。若順序不同，則 a 與 b 必於股道 t 變更順序。但如此必產生衝突。故得證。

如圖 4.4-5 所示意，考慮一個給定的可行班表，並嘗試插入虛線所示之新增列車 U 。此時可以利用性質 4.4-1 以判斷該車次是否存在有可用路徑。例如，若區域 8 至區域 11 之間存在有分配股道之方式使得車次 S_2 、車次 N_3 、與新增列車 U 能夠滿足性質 4.4-1 所示之無衝突條件，則新增列車能夠通過車站 C 。是否存在無衝突之股道分配方式，則可用圖 4.4-6 所示之整數規劃模式求解之。

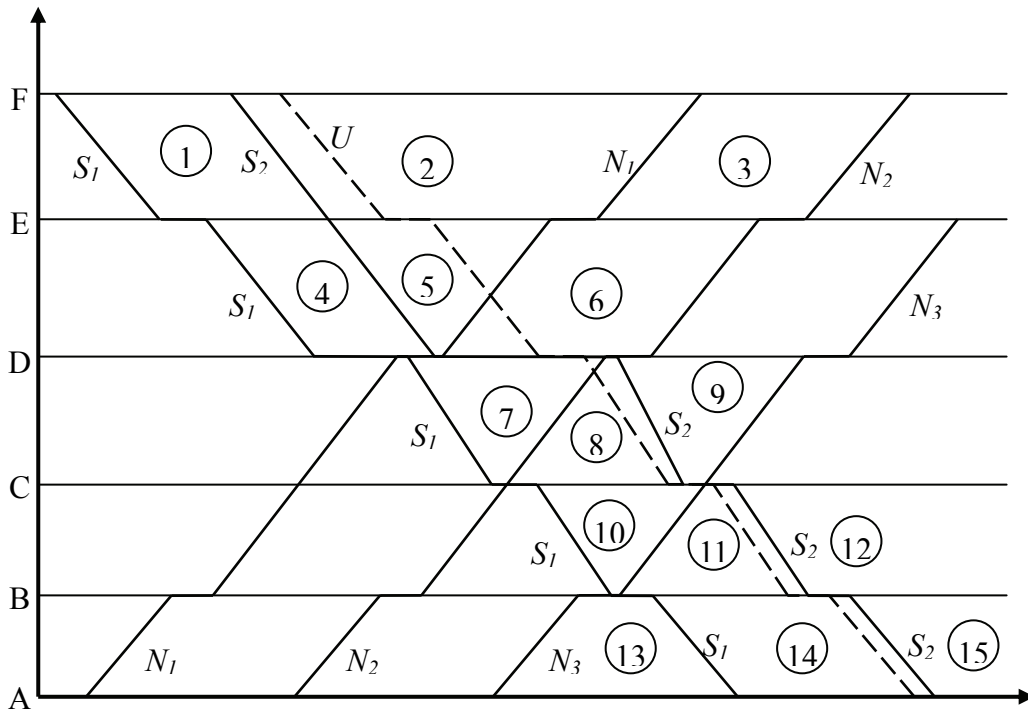


圖 4.4-5 於給定可行班表中插入新增列車路徑示意圖

Minimize 1

Subject to

$$b_{sr} + b_{tr} \leq 1 \quad \forall t \in T, s \in T, r \in R, \text{ and } t, s \text{ changed orders} \quad (0-1)$$

$$\sum_{r \in R} b_{tr} = 1 \quad \forall t \in T \quad (0-2)$$

資料來源：[9]

圖 4.4-6 股道分配模式

圖 4.4-6 之模式為純雙元整數模式。其中 T 為通過某一車站之所有車次，含新車次在內，所成之集合； R 為該車站所有股道所成之集合。唯一的一組變數 b_{tr} 為雙元變數，其值為 1 代表車次 t 於該車站使用股道 r 。若其值為 0 則代表該車次未使用該股道。對所有在該站進入與離站順序不同之車次對 t 與 s ，式(4.4-1)確保該二車次不使用同一股道。式(4.4-2)使得每一車次均獲得恰好一股道之指派，而式(4.4-3)則為雙元整數限制。實務使用上可能需要因月台之考量，或其他因素而限制某列車於某車站不得使用某股道，或以正面之方式限制其必須使用某股道。若為前者，則於模式中將對應之變數自模式中去除即可。若為後者，則於模式中將對應之變數以常數 1 取代即可。經過移項整理後，模式型式仍與圖 4.4-6 所示相同。

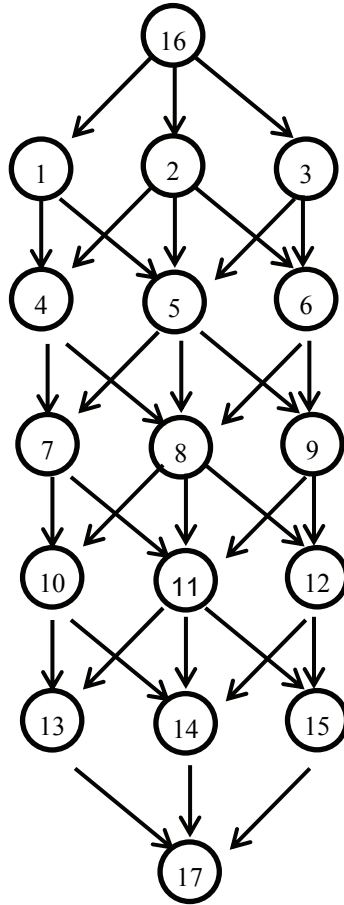


圖 4.4-7 最短路徑模型

圖 4.4-6 之股道分配模式可用以建立求解新增列車路徑之最短路徑模型。對照圖 4.4-5 與圖 4.4-7，圖 4.4-5 中之每一區，在圖 4.4-7 之網路模型中均有一對應之節點。此外並有編號 16 之起點節點，以及編號 17 之終點節點。除了連接起點節點與終點節點之節線外，其餘所有節線均對應圖 4.4-5 運行圖中，新增列車在時-空中由一區行駛至另一區之可能性。若求解股道分配模式發現存在有路徑，則該在圖 4.4-7 之網路模型中建立該節線，否則即無該節線。節線成本之設定之基本原則為，位在中間路徑之節線之成本為 0，其餘節線成本為 1。以圖 4.4-7 之網路為例，中間路徑為路徑 16-2-5-8-11-14-17，其上之所有節線成本均為 0。實作時，程式亦可利用設定節線成本之方式以引導模式解得適當之路徑。

建立網路後，其起點節點至終點節點之最短路徑即為新車次之可行路徑。由於該網路無迴圈，且其自然形成拓樸排序不必耗費計算時間，因此能夠在節線數量的線性時間內求解完成[64]。而由於本網路之節點數量與節線數量成線性關係，因此最短路徑之求解時間亦與節點數量成線性複雜度關係。

4.5 新增列車行點數學模型

車次行點指班表中所有車次在所有行經車站之到站與離站時間。在本研究之數學模式中，車次行點指所有車次在所有行經區間之進入與離開時間。當所有車次之路徑均給定時，求解車次行點之問題可以用圖 4.5-1 之純線性規劃模式描述之。符號說明如下。

新增列車行點數學模型所使用之集合、常數、與註標列舉說明如下。其中部份項目與列車使用軌道區間之順序有關，例如 $P^*(h,k)$ 參數之決定，必須依據各列車使用軌道區間之順序以制定之。因此有別於前述新增列車路徑數學模型，此處之模型必須將該項順序視為已知而非未知之資訊。此外，並有部份項目與列車所使用之區間有關，例如 B_k 集合之決定，必須據各列車在各車站所分配之股道以決定之。為此於建立本模型之前必須先求解新增列車路徑數學模型以及最短路徑模型，以其求解結果之列車順序作為建立模式參數之依據。

h	區間的註標
B	所有區間所成的集合
B^S	位於車站內所有區間所成的集合
V	所有車次所成的集合
G_k	車次 k 的理想發車時間
A_{hk}	在給定的背景班表中，車次 k 到達區間 h 的時分
D_{hk}	在給定的背景班表中，車次 k 離開區間 h 的時分
RA_{hk}^+	排定車次 k 到達區間 h 的時分晚於 A_{hk} 之限度
RA_{hk}^-	排定車次 k 到達區間 h 的時分早於 A_{hk} 之限度
RD_{hk}^+	排定車次 k 離開區間 h 的時分晚於 D_{hk} 之限度
RD_{hk}^-	排定車次 k 離開區間 h 的時分早於 D_{hk} 之限度
E_h	任何車次在區間 h 的最大允許額外耗時
$Trip_k$	車次 k 的最小旅程時間
T_{hk}^{\min}	車次 k 在區間 h 的最小佔用時間

T_{hk}^{ext}	車次 k 在區間 h 的延伸佔用時間，為最小佔用時間加上寬裕量
B_k	車次 k 所行經的所有區間所成之集合
B_k^0	車次 k 所使用的第一個區間
$B_k^{F'}$	車次 k 所使用的最後一個區間
B_k^F	車次 k 所使用的最後一個區間
$P^-(h,k)$	在車次 k 之前一個使用區間 h 的車次
B_{hk}^-	車次 k 使用區間 h 之前一個使用的區間
W_k	車次 k 的權重
W^{D1}	任一車次總班表延遲量的第 1 段權重
W^{D2}	任一車次總班表延遲量的第 2 段權重
W^{D3}	任一車次總班表延遲量的第 3 段權重
W^{*D1}	任一車次總班表延遲量的第 1 段權重允許量
W^{*D2}	任一車次總班表延遲量的第 2 段權重允許量
W^{P1}	任一車次理想發車時間差異量的第 1 段權重
W^{P2}	任一車次理想發車時間差異量的第 2 段權重
W^{P3}	任一車次理想發車時間差異量的第 3 段權重
W^{*P1}	任一車次理想發車時間差異量的第 1 段權重允許上限
W^{*P2}	任一車次理想發車時間差異量的第 2 段權重允許上限

C_{hmk} 車次 m 與車次 k 共同使用區間 h 時的最小時隔

決策變數部份：

$delay_k$ 車次 k 的總班表延遲量

$delay_k^1$ 車次 k 的總班表延遲量，第 1 段

$delay_k^2$ 車次 k 的總班表延遲量，第 2 段

$delay_k^3$ 車次 k 的總班表延遲量，第 3 段

a_{hk} 排定車次 k 到達區間 h 的時分

d_{hk} 排定車次 k 離開區間 h 的時分

y_{hk} 車次 k 在區間 h 的班表延遲量

r_k G_k 與車次 k 發車時分之差異之絕對值

r_k^1 G_k 與車次 k 發車時分之差異之絕對值，第 1 段

r_k^2 G_k 與車次 k 發車時分之差異之絕對值，第 2 段

r_k^3 G_k 與車次 k 發車時分之差異之絕對值，第 3 段

$$\text{Minimize } \sum_{k \in V} W_k (W^{P1} r_k^1 + W^{P2} r_k^2 + W^{P3} r_k^3 + W^{D1} delay_k^1 + W^{D2} delay_k^2 + W^{D3} delay_k^3) \quad (4.5-1)$$

Subject to

$$d_{hk} \geq a_{hk} + T_{hk}^{\min} \quad \forall h \in B_k \quad \forall k \in V \quad (4.5-2)$$

$$d_{hk} \leq a_{hk} + y_{hk} + T_{hk}^{ext} \quad \forall h \in B_k \quad \forall k \in V \quad (4.5-3)$$

$$y_{hk} \leq E_h \quad \forall h \in B_k \quad \forall k \in V \quad (4.5-4)$$

$$r_k \geq a_{B_k^0 k} - G_k \quad \forall k \in V \quad (4.5-5)$$

$$r_k \geq -a_{B_k^0 k} + G_k \quad \forall k \in V \quad (4.5-6)$$

$$r_k^1 + r_k^2 + r_k^3 \geq r_k \quad \forall k \in V \quad (4.5-7)$$

$$r_k^1 \leq W^{*P1} \quad \forall k \in V \quad (4.5-8)$$

$$r_k^2 \leq W^{*P2} \quad \forall k \in V \quad (4.5-9)$$

$$a_{hk} - d_{h, P^-(h,k)} \geq C_{h, P^-(h,k), k} \quad \forall h \in B_k \setminus B^S \quad \forall k \in V \quad (4.5-10)$$

$$d_{B_{hk}^-} = a_{hk} \quad \forall h \in B_k \quad \forall k \in V \quad (4.5-11)$$

$$d_{B_k^F k} - a_{B_k^0 k} = \text{delay}_k + \text{Trip}_k \quad \forall k \in V \quad (4.5-12)$$

$$\text{delay}_k^1 + \text{delay}_k^2 + \text{delay}_k^3 \geq \text{delay}_k \quad \forall k \in V \quad (4.5-13)$$

$$\text{delay}_k^1 \leq W^{*D1} \quad \forall k \in V \quad (4.5-14)$$

$$\text{delay}_k^2 \leq W^{*D2} \quad \forall k \in V \quad (4.5-15)$$

$$a_{hk} - A_{hk} \leq RA_{hk}^+ \quad \forall h \in B_k \quad \forall k \in V \quad (4.5-16)$$

$$-a_{hk} + A_{hk} \leq RA_{hk}^- \quad \forall h \in B_k \quad \forall k \in V \quad (4.5-17)$$

$$d_{hk} - D_{hk} \leq RD_{hk}^+ \quad \forall h \in B_k \quad \forall k \in V \quad (4.5-18)$$

$$-d_{hk} + D_{hk} \leq RD_{hk}^- \quad \forall h \in B_k \quad \forall k \in V \quad (4.5-19)$$

$$y_{hk} \geq 0 \quad \forall i \in B_j \quad \forall k \in V \quad (4.5-20)$$

圖 4.5-1 新增列車行點模式

新增列車行點模式之目標函數(04.5-1)在追求所有車次在班表中之發車時間與理想發車時間最接近，而且行車時間最短。其方法是將發車時間與理想發車時間之差的絕對值分為三段，每段在目標函數中給予的權重則漸增。行車時間亦以類似手法處理，將最小行車時間之上的延遲時間量亦分為三段，同樣每段給予漸增的權重。在極小化目標函數值的驅使下，最佳解中各車次之發車時間與理想發車時間之差距，以及各車次之行車時間，均將趨向於最小。限制式(04.5-2)限定所有車次在所有區間的最小佔用時間。限制式(04.5-3)將所有車次在所有區間的

實際佔用時間劃分為爲延伸佔用時間 T_{hk}^{ext} 與班表延遲量 y_{hk} ，而延伸佔用時間爲最小佔用時間加上一寬裕量。限制式(04.5-4)對每一車次在每一行經之區間之班表延遲量給予一上限值。限制式(04.5-5)與限制式(04.5-6)則使得 r_k 之值至少等於車次 k 在班表中之發車時間與其理想發車時間差距之絕值。與此相關的限制式(04.5-7)將此一差距值分割爲 r_k^1 、 r_k^2 、與 r_k^3 三段，而各段之最大量則受限制式(04.5-8)與限制式(04.5-9)之約制。這三個量均在目標函數之一部份，對求解方向有直接的引導作用。限制式(04.5-10)爲時隔限制式，使得先後佔用同一區間的兩車次之間保持至少 C_{hmk} 之時隔。由於 C_{hmk} 爲數學模式中之常數，因此本模式可以因車、因地制宜而納入各種複雜的考慮因素而決定所需之時隔，對其求解沒有影響。限制式(04.5-11)之作用在維持每車次在任一時間點均必須佔用某一區間之物理限制。限制式(04.5-12)左側爲車次 k 由發車到收車之總旅行時間，而右側則爲該車次已知的最小旅行時間與班表延遲量之和。此一班表延遲量於限制式(04.5-13)分爲三部份，而限制式(04.5-14)與限制式(04.5-15)則限制各段容許之最大量。之後的限制式(04.5-16)至限制式(04.5-19)限制了給定的背景班表在加入新列車之後，原有各車次在各區間進入與離開時分的變動量。對新增列車，此四條限制式所使用之參數 RA_{hk}^+ 、 RA_{hk}^- 、 RD_{hk}^+ 、及 RD_{hk}^- 可設爲大值，或去除此四限制式。最後，限制式(4.50-20)爲非負限制式。由於各車次於各區間的到開時分變數 a_{hk} 與 d_{hk} 受到諸多限制式之束約，並不再需要非負限制式，因此僅限制班表延遲量 y_{hk} 不得爲負值。

此一線性數學模式並無整數變數，因此在學理上屬多項式時間問題，基本上能夠快速求解。然而臺鐵系統龐大，求解的車次數以及車站數量過多時，將受到電腦記憶容量極限之限制。

4. 6 新增列車排點方案之求解

利用前述股道分配模式與新增列車行點模式可求解在給定的背景班表中加入新增列車之排點方案。其方法爲先參考新增列車之理想發車時間，據以構建最短路徑模型。求解最短路徑模型即可得到新增列車的可行路徑。解得新增列車之路徑之後，再構建新增列車行點模式。若此模式成功求解，即得到含有新增列車之班表。於實務操作上有時需要重複求解，例如新增列車行點模式可行解不存在、或所得到含有新增列車之班表不盡理想、或欲得到更多之可行方案。此時可以變

更新增列車之理想發車時間，重行求解。

新增列車行點模式以參數 RA_{hk}^+ 、 RA_{hk}^- 、 RD_{hk}^+ 、及 RD_{hk}^- 控制新增列車對背景班表之影響程度。若背景班表中之所有列車之參數值均設定為 0，則相當於限制新增列車之排入不可影響背景班表。反之，若有部份背景班表之列車之本項參數值為正值，則允許模式在該限度之內，以影響最小之方式插入新增列車。需要注意的是背景班表為已公告實施中之班表，並不容許因為新增列車而調整。因此本模式求解所得到之行點係用以判斷執行時，新增列車對其他列車之影響，而非據以變更已公告之背景班表。

第五章 班表穩定度分析

5.1 穩定度之衡量

任何真實的軌道系統在運轉時必受到乘客行為、車上載重、天候、電力系統、機械狀況、駕駛行為、及其他諸多隨機因素之影響，致使列車於各區間之實際運轉時間與班表之表定時間必有或多或少的不同。這些擾動使得各列車之實際到站時間與表訂到站時間產生差異。同時，真實系統在運轉時，司機員、調度員等相關人員會有促使運轉回歸到既定班表之作爲。這些不同的影響作用在班表與軌道系統上，共同決定班表的穩定性。

爲了不同的使用目的，列車班表的穩定度可以有不同的衡量準則[40]，例如可以用班表在一定時間、一定空間受到一定擾動時回復所需要的時間，或用列車所能夠承受而不影響其他列車之擾動量，或使用班表受到一定擾動時各列車之晚點量衡量之。本研究採用其中第三種衡量方法。

上述各種衡量方法之主要差異在於判定穩定度之準則不同，而所評估之對象則均爲班表。在相同的軌道系統上，不同的班表將導致不同的穩定度；而相同的班表亦不可能於不同的軌道系統上執行。因此基於班表與軌道共同決定運轉狀況之法則，任何穩定度之評估必須以明確的軌道系統以及班表爲其評估對象。

班表執行時，列車與軌道系統之間、列車與列車之間、以及相關人員與列車之間的相互影響至爲複雜，目前並無適當之解析分析方法。爲此，本研究使用之方法爲班表模擬，亦即以模擬之方式呈現班表在執行時各列車在其中的互制行為，並觀測各列車到離站時間偏離既定班表之狀況。此班表模擬爲 TrainWorld[12]功能之一部份，該軟體亦能夠在設定的擾動量機率分配之下，以隨機方式模擬班表之運轉，並收集所有列車在所有車站之晚點量，據以統計其分佈。

本研究對列車到離站時間偏離既定班表之差異量以「晚點」稱之，以與臺鐵系統慣用之「誤點」一詞有所區分。由於晚點量定義爲每一車站之實際到站時間與表訂到站時間之差，因此一班車次運轉時，在每一行經站均可以觀測一筆晚點量。

以現今之科技，任何模擬系統均無法真實而完整模擬影響列車運行之所有隨機因素，應用上亦無此必要。而本研究之目的在探討隨機因素所產生之晚點量對整體班表之影響，亦非逐項探討各種隨機因素對晚點量之影響。因此在 TrainWorld[12]的模擬功能中，該軟體允許設定「擾動強度」 p 值與「整理強度」 r 值，依序用以分別代表外在隨機因素所造成之列車在車站內與站間路段中運轉時間延長量，以及司機員、調度員促使運轉回歸到既定班表之作爲。在擾動的部份，假設其統計上爲指數分佈(exponential distribution)，其平均值即爲 p 值，單位爲分鐘。因此擾動強度設定值愈大，列車可能發生的晚點量愈大。此外，以表

現這些作為之影響。整理強度 r 為介於 0 與 1 之間之實數值，在模擬過程中影響各列車回歸既定班表之能力。具體說明之，若 d 為某列車在某車站之晚點量，而當時之班表寬裕量、列車基準運轉時分、與前後其他列車最小時隔所容許之最大趕點量為 t ，則該列車在該車站或該站間所趕回之時間量為 $\min(d, r*t)$ ，亦即此二量中之小者。整理強度愈接近 1，即代表列車愈盡一切能力趕回延誤之時間。反之，若整理強度為 0，即代表列車完全沒有趕點之作為。模式將擾動與整理視為兩個相互獨立，但均作用於班表運轉過程之影響因子。

5. 2 新增列車方案班表穩定度之分析

於背景班表中插入新增列車後，相關的穩定度分析可由不同之角度討論之。在正常的狀況下，新增列車對背景班表其他列車並無行點上之影響，亦即新增列車之運行完全利用背景班表中之剩餘可用容量。在此狀況下，若不計外在隨機因素之擾動，則新增列車對背景班表之穩定度並無任何影響。然而任一系列車發生擾動均有可能因在班表中傳播而對其後的所有列車產生影響。若發生晚點之列車超過一列，則其晚點量則有可能累積，而產生放大效果。為了分析新增列車對整體班表穩定性的影響，可以在模擬時設定僅有新增列車發生隨機擾動，進而觀察其晚點量在班表中傳播的狀況。後續章節將以測試例呈現其實作之例子。

第六章 測試例

6.1 背景班表與新增列車

本章以新左營至臺東間的南迴線真實鐵路為測試例，驗證本研究所提出之數學模式與分析方法。該段路段始於新左營，行經左營、鼓山、高雄、鳳山、後庄、九曲堂、六塊厝、屏東、歸來、麟洛、西勢、竹田、潮州、崁頂、南州、鎮安、林邊、佳冬、東海、枋寮、加祿、內獅、枋山、枋野、中央(號誌站)、古莊、大武、瀧溪、金崙、太麻里、知本、康樂、台東，總計 34 座車站。測試例所使用 100 年 9 月 28 日公告施行之真實班表為依據，取其每星期五之班表作為測試之用，全天共有 205 列次。

在新增列車方面，本測試例假設新增之列車為區間車，自枋寮發車，收車站在高雄。沿途停靠所有車站。理想發車時間設定為星期五上午 7:50。其車次編定為 3512X。各站最小停站時分如表 6.1-1。

表 6.1-1 新增列車最小停站時分設定

車站	停站	車站	停站	車站	停站	車站	停站
枋寮		南州	1	麟洛	0.5	後庄	0.5
東海	0.5	崁頂	0.5	歸來	0.5	鳳山	2
佳冬	3	潮州	1	屏東	2	高雄	
林邊	3	竹田	0.5	六塊厝	0.5		
鎮安	0.5	西勢	2	九曲堂	1		

6.2 測試方法

本研究使用套裝軟體 TrainWorld[12]軟體之自動排點功能進行測試。該軟體具有全自動排點能力，自動排除所有衝突。因此在此並不討論軟體能力不足以排除班表之衝突時，操作人員應如何介入之問題。

由於背景班表的存在，在插入新增列車時若固定以其理想發車時間作為班表之發車時間，則產生列車衝突之機會甚高。因此排點軟體必須有能力自動尋找適當之發車時間。為此，測試時設定允許 TrainWorld 系統彈性變動新增列車之發車時間，自動尋找可排入新增列車之機會。配合臺鐵之實務狀況，本研究測試時並設定新增列車應避免壓點，但不得已時亦可接受。

6.3 測試結果

本測試例經過 TrainWorld 求解，共解得 7 種插入新增列車的可能性。其方案編號以及行點整理如表 6.3-1 所示。

表 6.3-1 新增列車各方案行點

車站	方案						
	1	3	6	8	10	11	30
枋寮	6:48.5	7:03	6:48	6:48.5	6:48.5	7:03	7:03
東海	6:54	7:08.5	6:53.5	6:54	6:54	7:08.5	7:08.5
	6:55	7:09	6:54	6:55	6:55.5	7:09	7:09
佳冬	6:57.5	7:12	6:57	6:57.5	6:57.5	7:12	7:12
	7:00.5	7:15	7:00	7:00.5	7:00.5	7:15	7:15
林邊	7:06	7:20.5	7:05.5	7:06	7:06	7:20.5	7:20.5
	7:09	7:23.5	7:08.5	7:09	7:09	7:23.5	7:23.5
鎮安	7:13.5	7:28	7:13	7:13.5	7:13.5	7:28	7:28
	7:22.5	7:28.5	7:13.5	7:22.5	7:22.5	7:28.5	7:28.5
南州	7:27	7:33	7:18	7:27	7:27	7:33	7:33
	7:38	7:38	7:19	7:38	7:38	7:38	7:38
崁頂	7:41.5	7:41.5	7:22.5	7:41.5	7:41.5	7:41.5	7:41.5
	7:42	7:42	7:23	7:42	7:42	7:42	7:42
潮州	7:47	7:47	7:28	7:47	7:47	7:47	7:47
	7:51	7:51	7:29	7:51	7:51	7:51	7:51
竹田	7:56	7:56	7:34	7:56	7:56	7:56	7:56
	7:56.5	7:56.5	7:34.5	7:56.5	7:56.5	7:56.5	7:56.5
西勢	8:00	8:00	7:38	8:00	8:00	8:00	8:00
	8:02	8:02	7:44.5	8:02	8:02	8:02	8:02
麟洛	8:05	8:05	7:47.5	8:05	8:05	8:05	8:05
	8:05.5	8:05.5	7:48	8:05.5	8:05.5	8:05.5	8:05.5
歸來	8:08	8:08	7:50.5	8:08	8:08	8:08	8:08
	8:12	8:12	8:00	8:12	8:12	8:12	8:12
屏東	8:16	8:16	8:04	8:16	8:16	8:16	8:16
	8:28	8:28	8:09	8:28	8:28	8:28	8:28
六塊厝	8:32	8:32	8:13	8:32	8:32	8:32	8:32
	8:32.5	8:32.5	8:18	8:32.5	8:36.5	8:32.5	8:32.5
九曲堂	8:37.5	8:37.5	8:23	8:37.5	8:41.5	8:37.5	8:37.5
	8:38.5	8:38.5	8:34	8:38.5	8:52.5	8:38.5	8:38.5
後庄	8:43.5	8:43.5	8:39	8:43.5	8:57.5	8:43.5	8:43.5
	8:44	8:44	8:39.5	8:50	8:58	8:50	8:44

車站	方案						
	1	3	6	8	10	11	30
鳳山	8:49	8:49	8:44.5	8:55	9:03	8:55	8:49
	8:51	8:57	8:48	9:06	9:05	9:06	8:51
高雄	8:59	9:03	8:56	9:14	9:13	9:14	8:59

7 個不同方案之運行圖如圖 6.3-1 至圖 6.3-7 所示。其中各方案之背景班表均完全相同，而新增列車則以箭頭符號標示之。

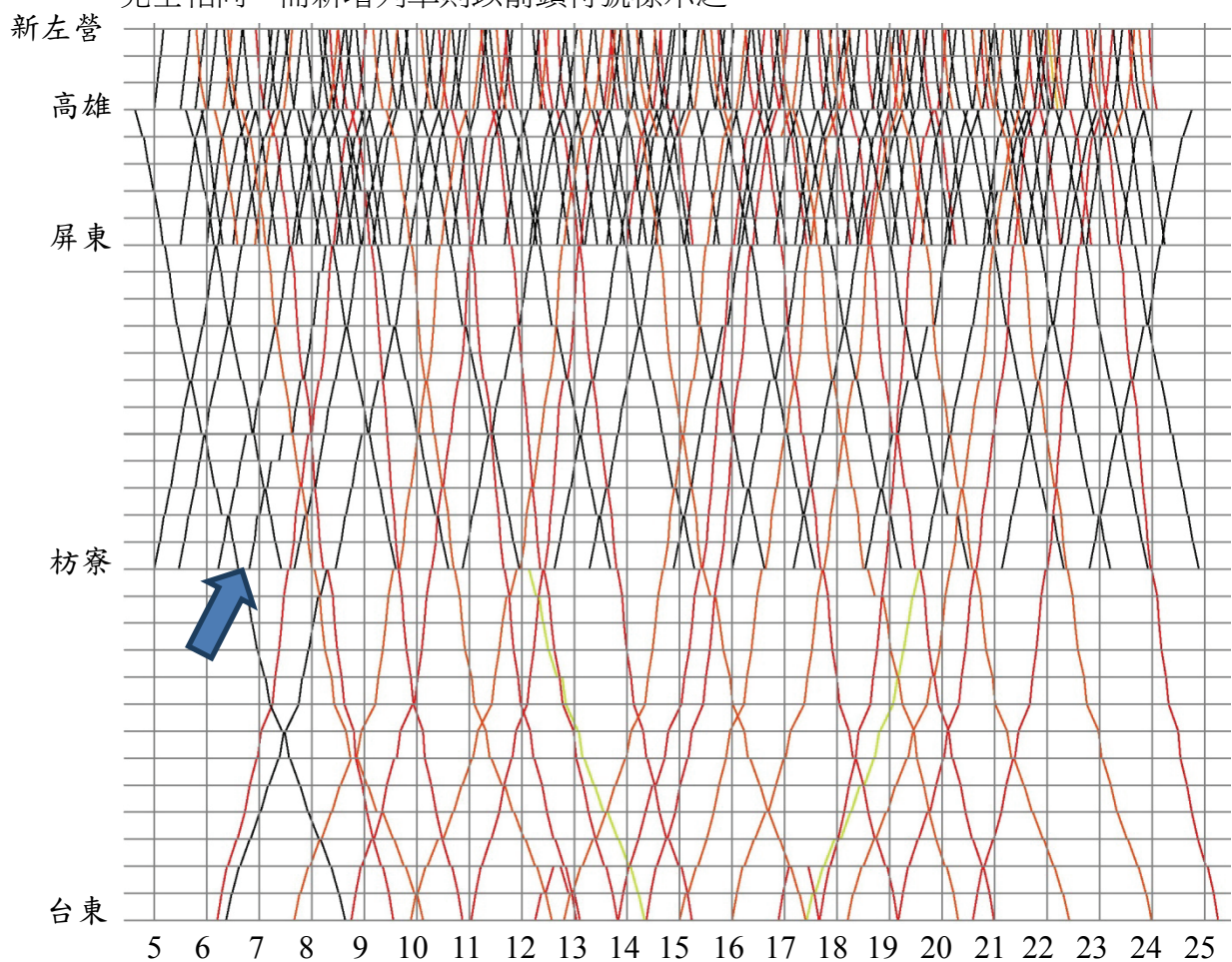


圖 6.3-1 方案 1 運行圖

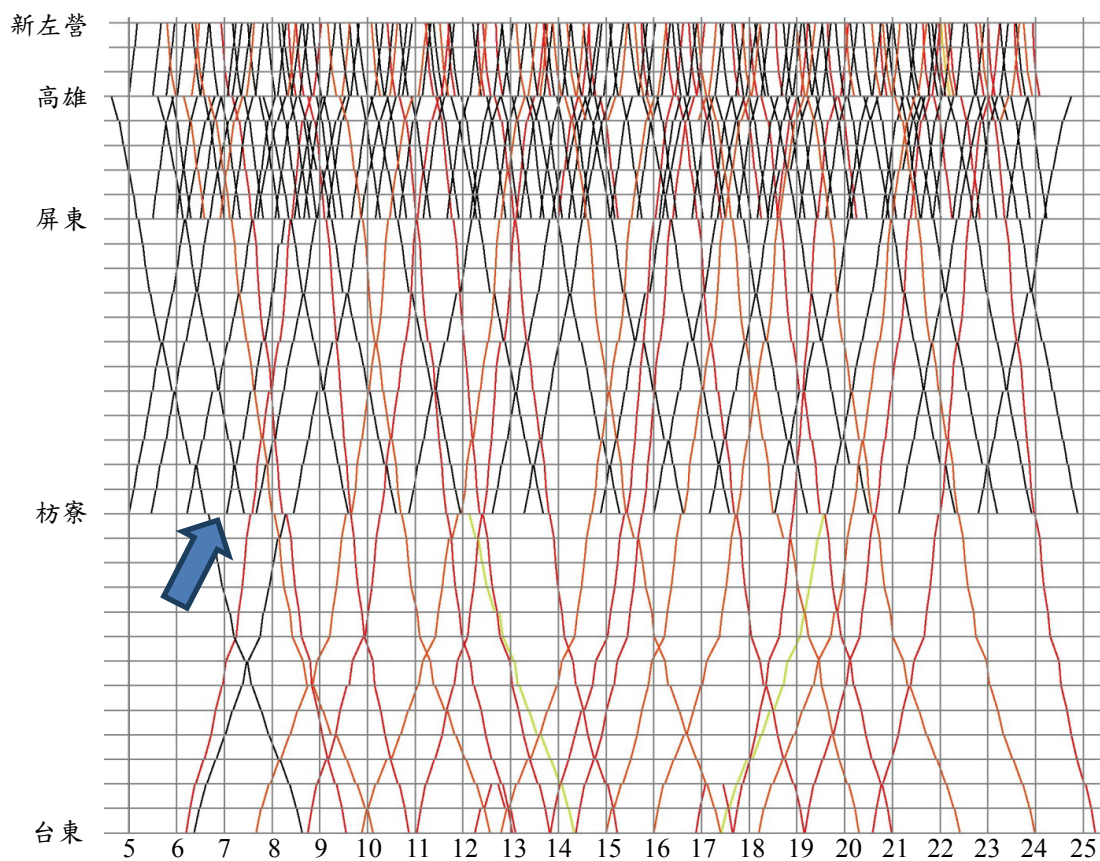


圖 6.3-2 方案 3 運行圖

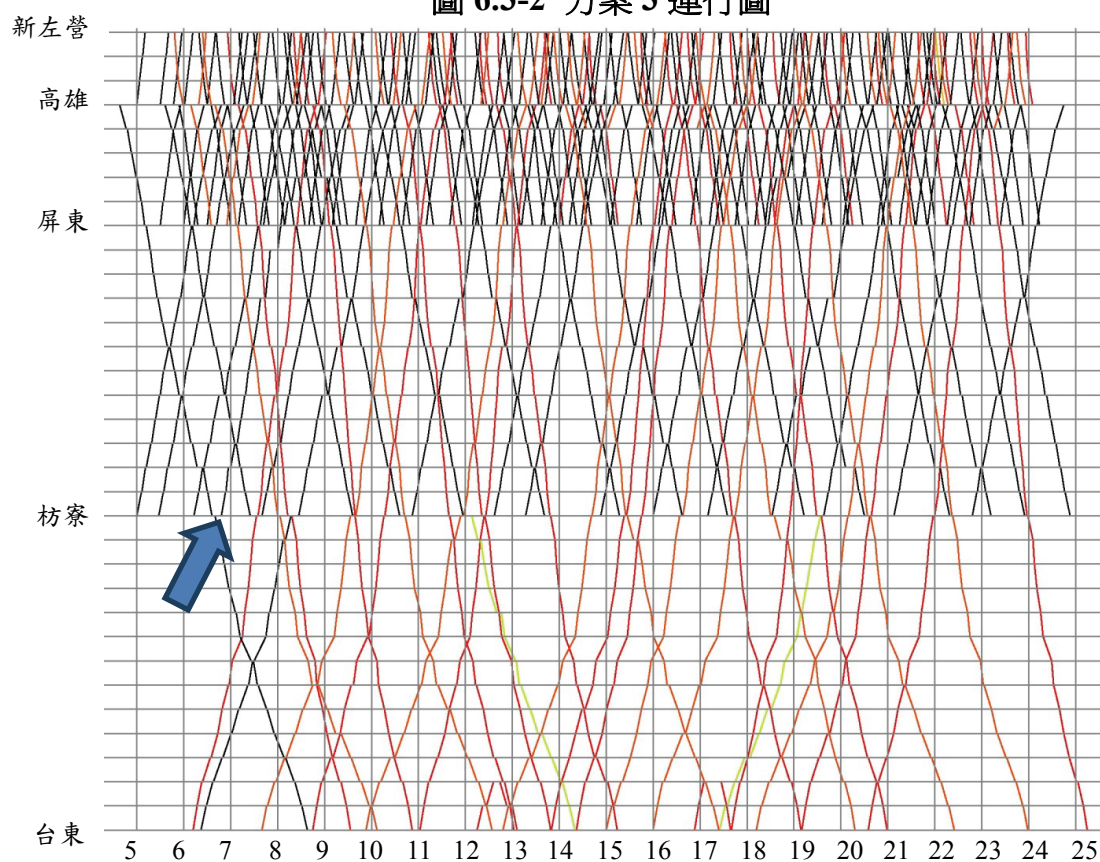


圖 6.3-3 方案 6 運行圖

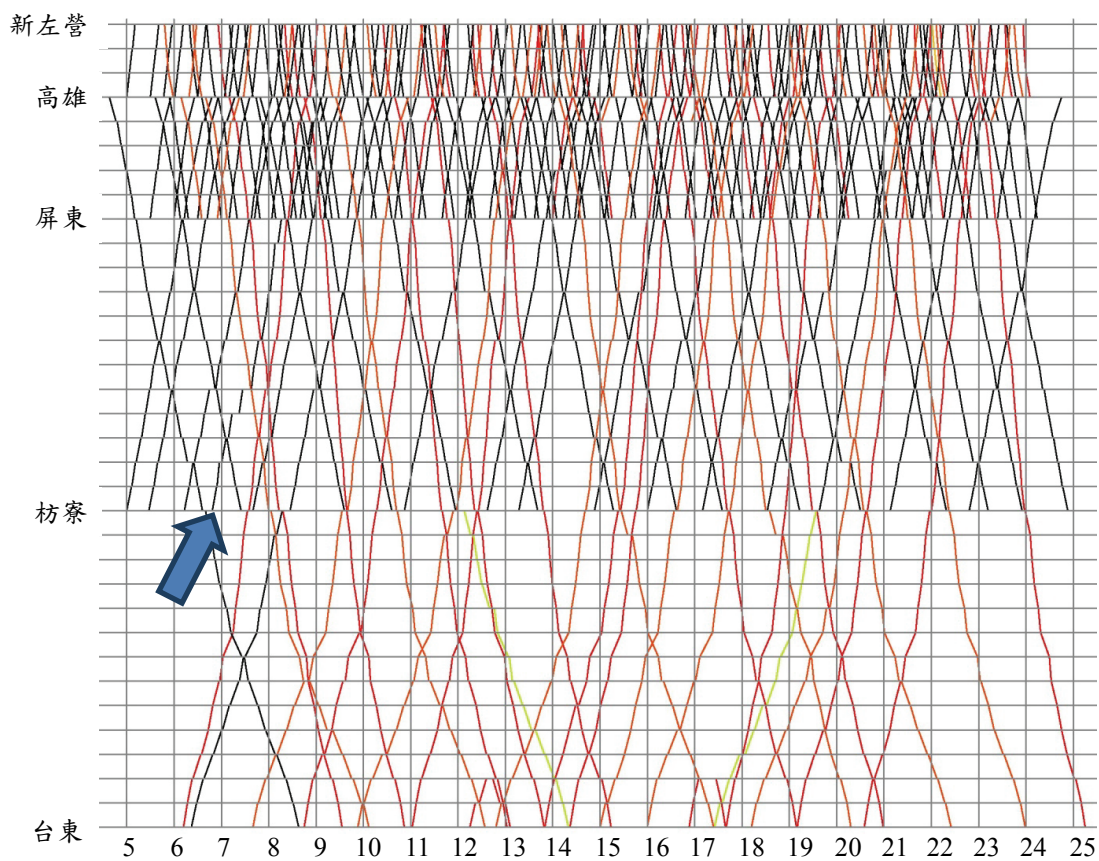


圖 6.3-4 方案 8 運行圖

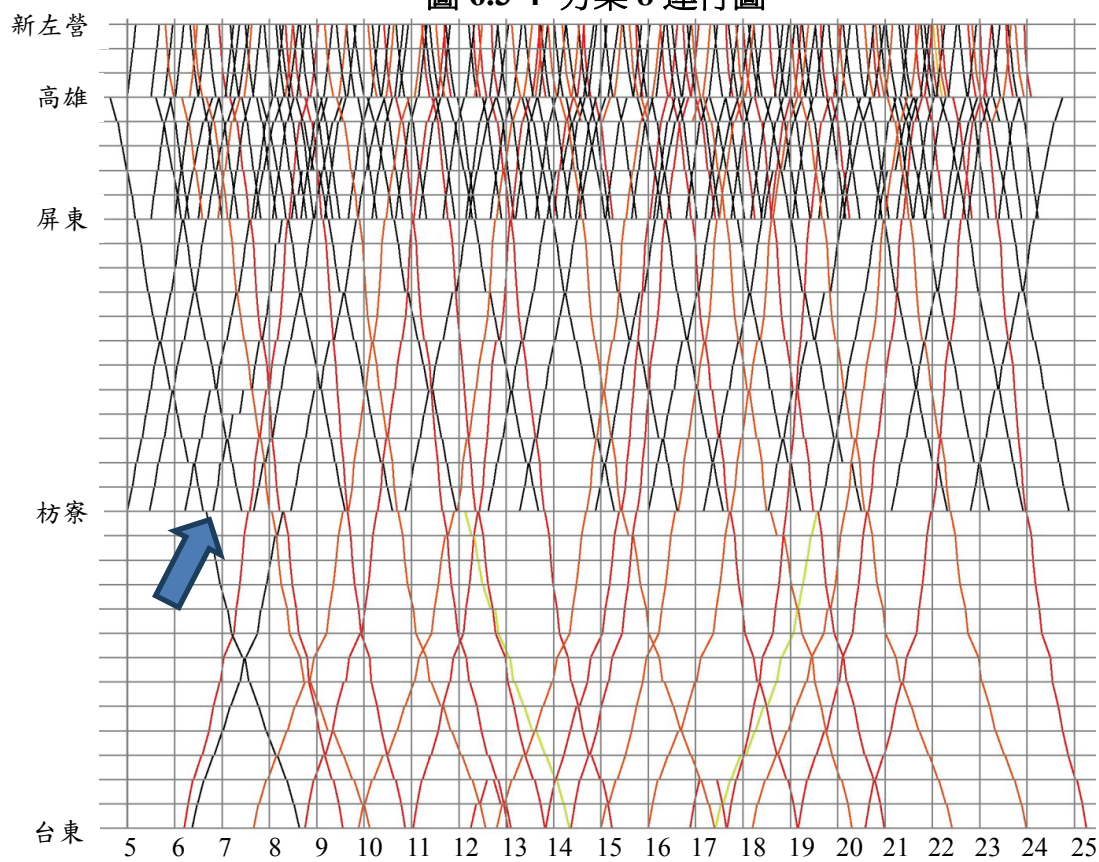


圖 6.3-5 方案 10 運行圖

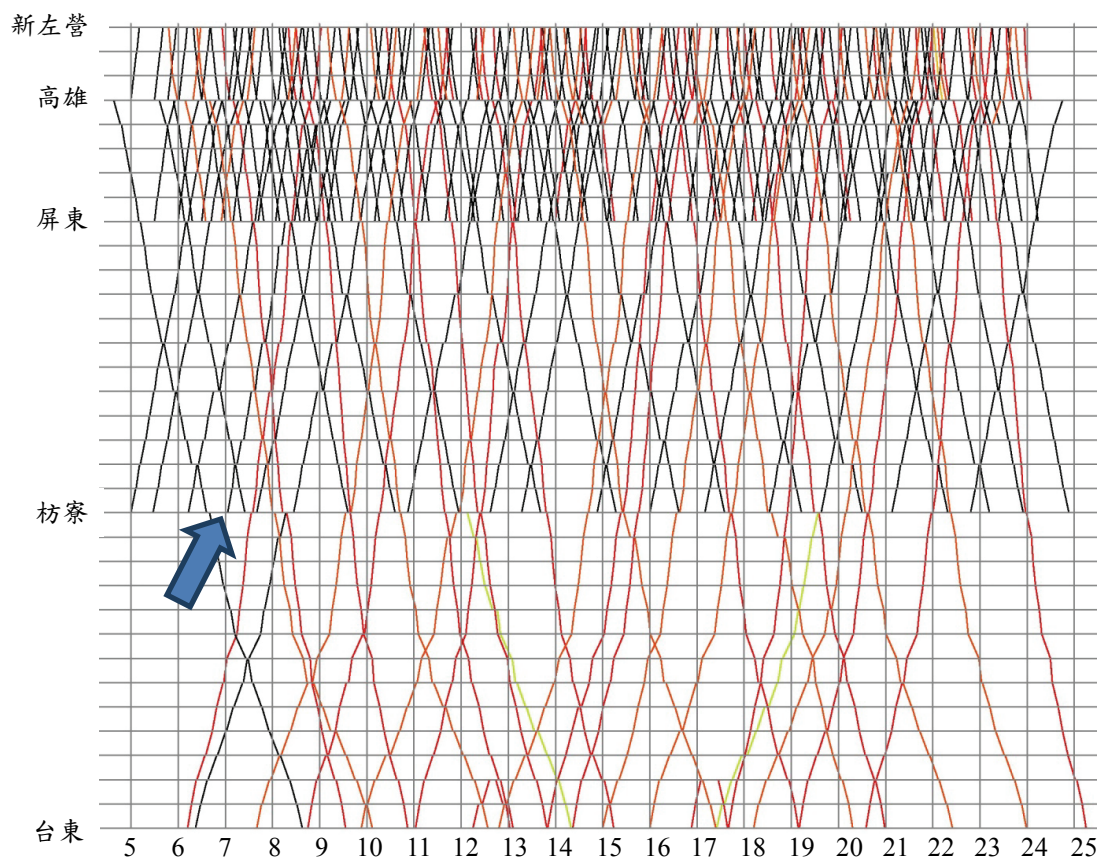


圖 6.3-6 方案 11 運行圖

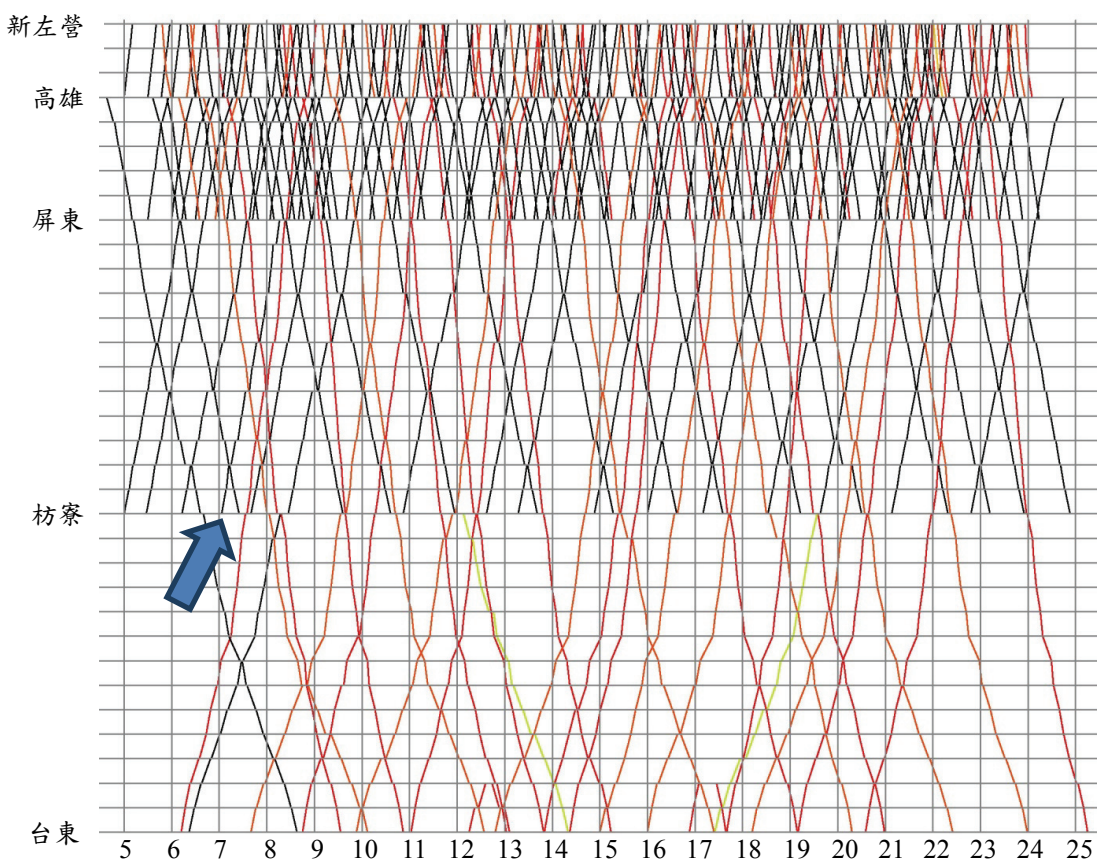


圖 6.3-7 方案 30 運行圖

在研究進行中，並發現背景班表之行點與基準運轉時分等基本資料並不完全一致。此種現象將導致即便在完全沒有外在擾動的狀況下，班表執行時亦有晚點之現象。以下將以「準點圖」呈現模擬所估計之晚點狀況。準點圖與運行圖類似，但以不同顏色呈現晚點量。其圖例如圖 6.3-8 所示。



單位：分鐘

圖 6.3-8 準點圖顏色圖例

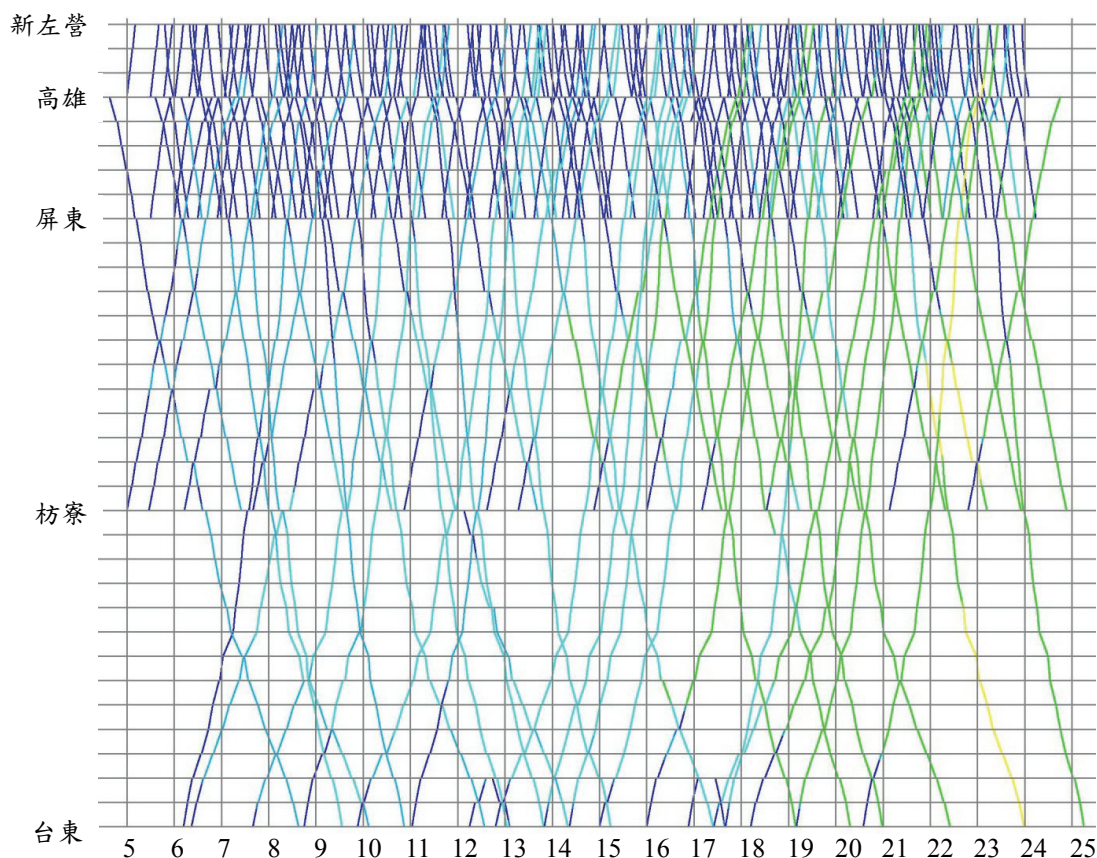


圖 6.3-9 背景班表準點圖($p=0, r=0$)

圖 6.3-9 所示為背景班表在 $p=0$ 、 $r=0$ 設定下模擬所得之準點圖。該圖顯示因班表中之時隔不足等狀況，在完全無外在隨機擾動之狀況下所產生之晚點現象。而圖 6.3-10 所示為背景班表在 $p=0$ 、 $r=0.75$ 設定下模擬所得之準點圖，可以見到晚點狀況因整理作為而獲改善。

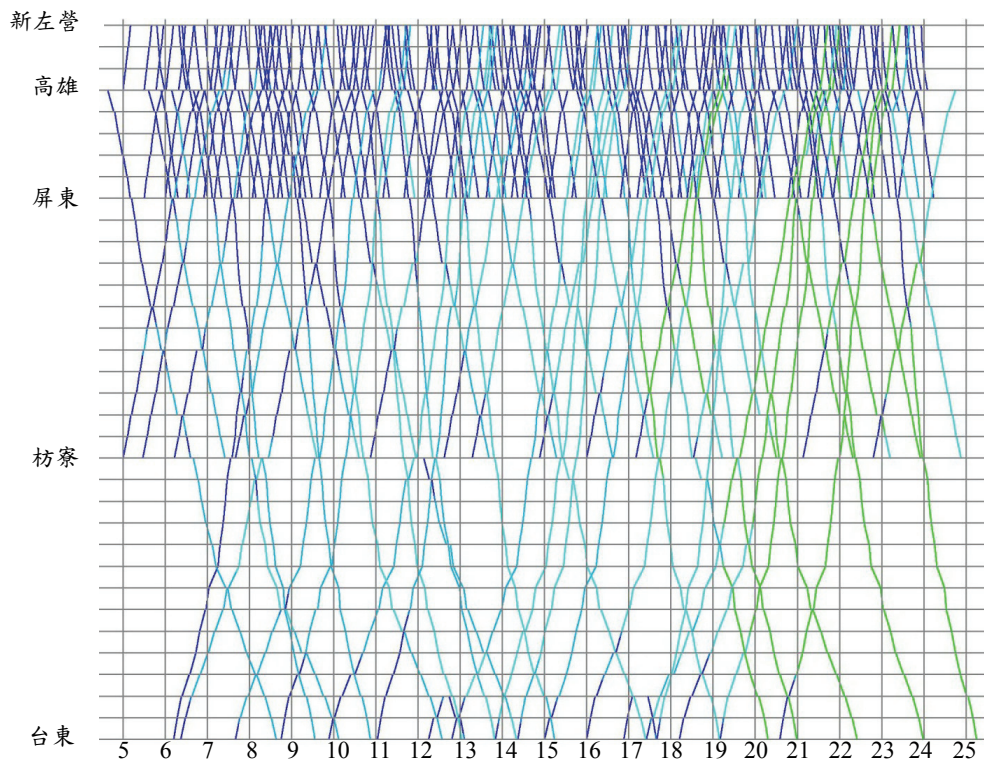


圖 6.3-10 背景班表準點圖($p=0, r=0.75$)

圖 6.3-11 所示為使用方案 30 之行點，在新增列車 $p=0.5$ 、 $r=0$ ，而背景班表所有列車均為 $p=0$ 、 $r=0$ 之設定下模擬所得之準點圖。可以見到新增列車之擾動對整體班表影響不大。

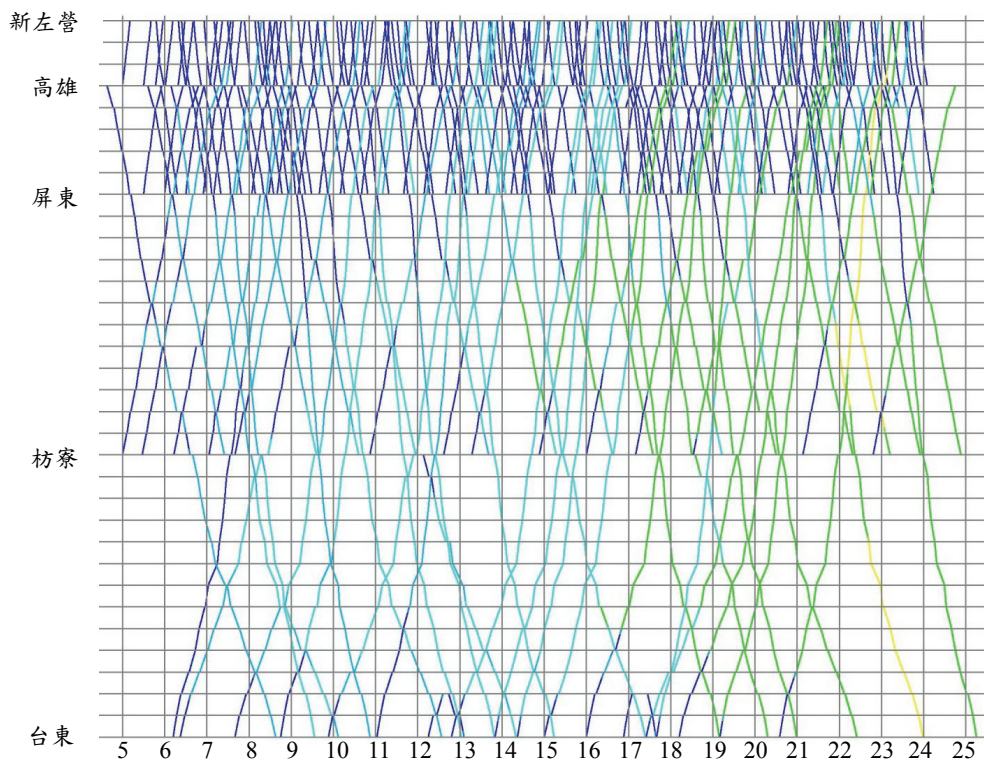


圖 6.3-11 方案 30 背景班表準點圖(新增列車 $p=0.5, r=0$)

但若賦與新增列車較大之擾動量，則其影響有可能及於全班表。圖 6.3-12 所示為新增列車 $p=3$ 、 $r=0$ ，而背景班表之列車則設定為 $p=0$ 、 $r=0$ 設定下模擬所得之準點圖。圖中可以觀察到新增列車之擾動擴散及於其後大部份列車之現象。

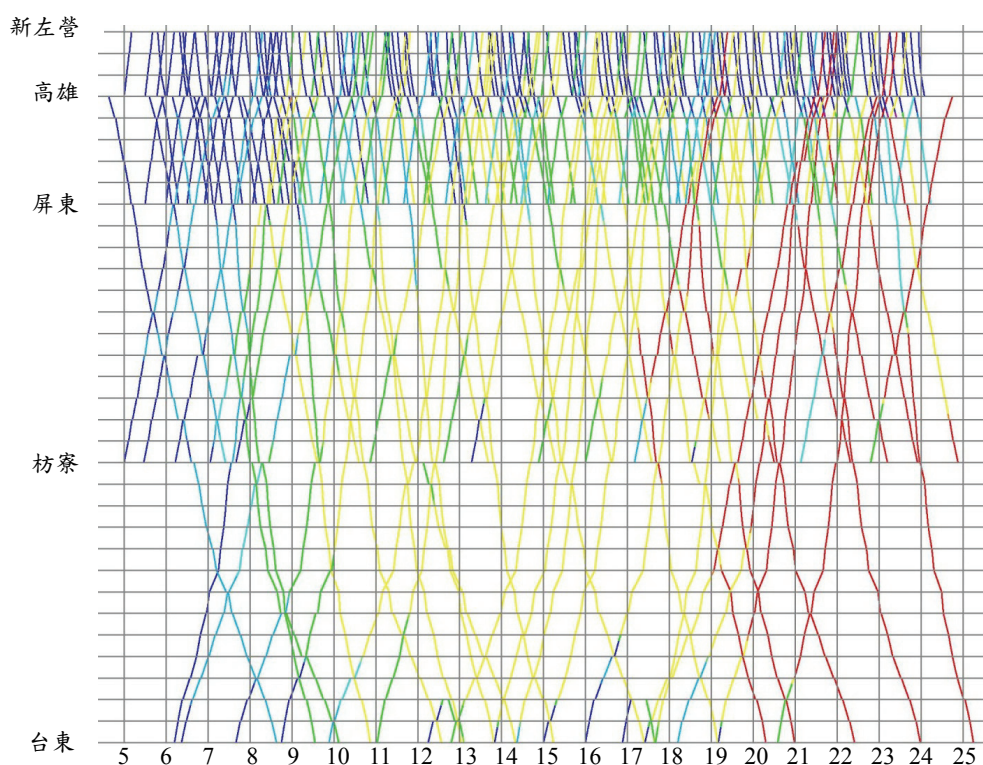


圖 6.3-12 方案 30 背景班表準點圖(新增列車 $p=3, r=0$)

圖 6.3-13 所前項類似，但將所有背景班表之列車以及新增列車均設定為 $r=0.75$ ，可以見到晚點傳播之現象得到改善。

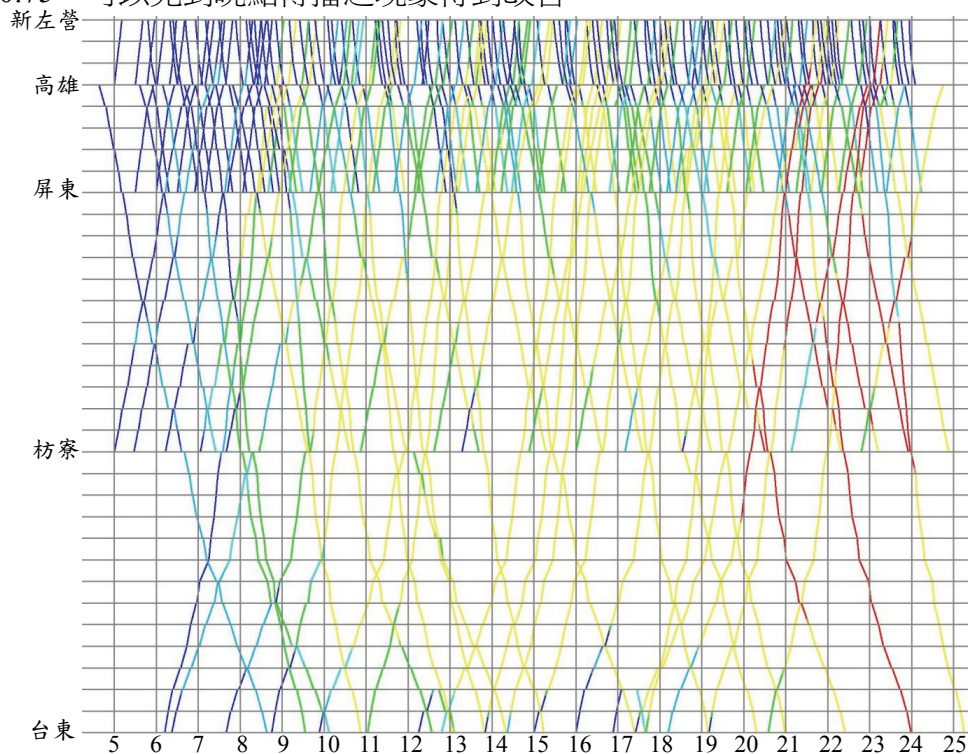


圖 6.3-13 方案 30 背景班表準點圖(新增列車 $p=3, r=0.75$)

6. 4 真實班表測試之發現

本研究在使用真實班表測試時，發現真實班表中存在有多數時隔不足、運轉時分不足或過長、停站時間不足或過長等廣義衝突。這些衝突的存在使得班表執行時，即便完全無外在擾動亦產生晚點，如圖 6.3-9 所示之模擬結果。臺鐵局長期以來在提高準點率方面不遺餘力，實應正視此一現象。

此外，以 TrainWorld 之自動解衝突功能測試結果，亦發現只要小幅調整班表之行點，即可消除絕大部份之衝突。顯示真實班表具有良好之基本架構，但在缺乏適當軟體工具的狀況下人工作業有其極限。

第七章 結論與建議

不定期列車為臺鐵系統所提供之重要服務。雖然其列次數僅佔全系統每日列次數之極微小比例，但對班表調整與列車調度帶來甚高工作負擔。然而不定期列車業務對臺鐵系統之企業形象以及國家交通政策有相當之關聯，且可預見在短期內將成為重要之需求項目與利潤來源。本研究針對臺鐵系統之不定期列車業務現況進行廣泛瞭解、整理與分析，並進一步提出作業流程改善建議。

7. 1 結論

1. 臺鐵系統軌道資源有限，在目前營運下，定期列車已經甚為密集。故欲在既有之定期列車班表中加入額外之不定期列車，同時又達到儘量不影響既定班表之要求，難度甚高。且不定期列車為配合申請者需求對軌道資源需求往往高於一般定期列車，因此實務上不定期列車的班表中，常見時隔不足狀況，即慣稱之「壓點」現象。此現象對行車並不造成安全上之顧慮，但卻影響班表之穩定程度，直接衝擊班表營運之準點率。
2. 本研究構建用以分析臺鐵現行營運班表下增加包車班次之列車排班模式，目的在不影響定期班表、或給定之影響容忍程度限制下，解析可容納之列車排點方案。以套裝軟體 TrainWorld [12]為基礎，使用臺鐵局新左營至臺東路段真實班表、軌道、與參數進行實例測試，驗證列車排班模式可行並具有實用能力。此外，並提出以模擬方式預測，採「準點圖」呈現方式評估背景班表中加入新增列車後班表穩定度之影響。
4. 測試真實班表的過程中，發現真實班表中存在有時隔不足、運轉時分不足或過長、停站時間不足或過長等廣義衝突，使得運轉時易產生晚點。但以軟體測試發現，只要小幅調整班表之行點，即可消除絕大部份之衝突，此為人工作業無法克服之處。

7. 2 建議

1. 基礎研究方面

- (1) 本研究提出之數學模型均以排定不定期列車行點為主要目的，未來可擴充納入列車編組與機班運用考量。
- (2) 為評估班表穩定度，本研究以單一參數 r 值代表臺鐵系統在擾動下之回復力。然實際鐵路系統中，回復力由軌道、班表、擾動與整理所決定，其複

雜程度遠超過文獻中所見。鑒於本項因素對實務營運之重大影響，建議可持續探討。

- (3) 利用臺鐵已有之 ATP 與 CTC 系統所記錄之歷史資料，可以精準校估擾動強度 p 值之統計分佈，對未來模擬精準度與可信度有極大助益。並可以此為基礎，由學理上建立臺鐵複雜隨機程序之數學模型，建議可持續探討。
- (4) 晚點在班表中之傳播現象為複雜的隨機程序，而其特性對準點率、營運效率等均有重大影響，建議可以臺鐵局之系統為例，進行深入研究以作為策略、計畫與管理上重要參考。
- (5) 列車行點、機班運用、車輛運用三者為鐵路營運計畫之人、車、路三大核心課題。其間相互密切影響，無法完全分割處理。由於技術門檻甚高，建議繼續長期研究，以提升我國軌道運輸系統技術水準。

2.軟體建置方面

- (1) 自動化之列車排點工具可協助提升不定期列車業務之品質與處理速度。本研究成果經過真實案例驗證，足可支持真實作業所需。建議後續可建置不定期列車自動排點系統，並結合臺鐵局建置中之「列車加開、掛派遣系統」，使不定期列車作業接近全自動化。
- (2) 本研究以不定期列車為對象，然其使用之衝突排解、股道分配、行點求解等技術，已涵蓋全班表之自動排點系統所需大部份技術。建議可評估應用於全班表之自動排點技術暨軟體發展。除了有助臺鐵強化排點能力與品質外，並可依 UIC406 所提供之路線容量評估方法，據以分析各種不同情境下之路線容量及其使用狀況。
- (3) 列車自動排點所需之相關資料與傳統人工作業不全然相同，電腦係以高速大量資料處理能力，補其知識與智慧之不足。自動作業時所需之精密度較高，所需之資料項亦較多。建議後續發展自動排點系統或不定期列車自動排點系統時，亦應併同建置自動排點所需資料。

參考文獻

1. Carey, M.: A model and strategy for train pathing with choice of lines, platforms, and routes. *Transportation Research Part B*. 28(5), 333-353 (1994).
2. Carey, M.: Extending a train pathing model from one-way to two-way track. *Transportation Research Part B*. 28(5), 395-400 (1994).
3. Carey, M., Lockwood, D.: Model, algorithms and strategy for train pathing. *Journal of the Operational Research Society*. 46(8), 988-1005 (1995).
4. Caprara, A., Fischetti, M., Toth, P.: Modeling and solving the train timetabling problem. *Operations Research*. 50(5), 851-861+916 (2002).
5. 謝汶進 (1993), 鐵路列車排點模式之研究, 碩士論文, 交通管理學系, 國立成功大學,
6. 鍾志成, 李治綱, 李宇欣, 盧麗嵩, 張仕龍, 張恩輔, 曾志煌, 賴威伸, 臺鐵車輛排程最適化之研究. 2006, 交通部運輸研究所.
7. Chung, J.W., Oh, S.M., Choi, I.C.: A hybrid genetic algorithm for train sequencing in the Korean railway. *Omega*. 37(3), 555-565 (2009).
8. Liu, S.Q., Kozan, E.: Scheduling trains as a blocking parallel-machine job shop scheduling problem. *Computers & Operations Research*. 36(10), 2840-2852 (2009).
9. Lee, Y., Chen, C.-Y.: A heuristic for the train pathing and timetabling problem. *Transportation Research Part B: Methodological*. 43(8-9), 837-851 (2009).
10. 周永暉, 張家祝, 黃承傳: 特殊假期鐵路列車排程規劃之分析模式. *運輸計畫*. 30(1), 63-87 (2001).
11. 黃任由 (2006), 應用平行螞蟻演算法求解捷運列車班表問題之研究, 科技管理研究所, 中華大學, 新竹市.
12. Yang, C.-T., Lee, Y., Chen, C.-Y., Wu, M.-L. TrainWorld: A Decision Support System for Railway Timetabling. in *Taiwan International Conference on Railway Technology*. 2011. Taipei.
13. Nagarajan, V., Ranade, A.G.: Exact train pathing. *Journal of Scheduling*. 11(4), 279-297 (2008).
14. Burdett, R.L., Kozan, E.: Techniques for inserting additional trains into existing timetables. *Transportation Research Part B: Methodological*. 43(8-9), 821-836 (2009).
15. Cacchiani, V., Caprara, A., Toth, P.: Scheduling extra freight trains on railway networks. *Transportation Research Part B: Methodological*. 44(2), 215-231 (2010).
16. 鍾志成, 李治綱, 盧麗嵩, 張仕龍, 張恩輔, 孫千山, 黃笙玟, 林國顯, 蘇振

- 維, 劉昭榮, 運輸系統容量分析暨應用研究-軌道系統(1/4). 2007, 交通部運輸研究所.
17. UIC leaflet 406, Capacity. 2004, France: UIC International Union of Railways.
 18. Krueger, H. Parametric modeling in rail capacity planning. in Simulation Conference Proceedings, 1999 Winter. 1999.
 19. Landex, A., Capacity statement for railways, in Annual Transport Conference at Aalborg University. 2007.
 20. Landex, A.: Evaluation of railway networks with single track operation using the UIC 406 capacity method. *Networks and Spatial Economics*. 9(1), 7-23 (2009).
 21. Landex, A., Kaas, A.H., Schittenhelm, B., Schneider-Tilli, J. Practical use of the UIC 406 capacity leaflet by including timetable tools in the investigations. in *WIT Transactions on the Built Environment*. 2006. Prague.
 22. Landex, A., Kaas, A.H., Schittenhelm, B., Schneider-Tilli, J., Evaluation of railway capacity. 2006.
 23. Landex, A., Schittenhelm, B., Kaas, A.H., Schneider-Tilli, J. Capacity measurement with the UIC 406 capacity method. in *WIT Transactions on the Built Environment*. 2008. Toledo.
 24. Gasparik, J., Pokorny, J., The methodics of the Calculation the railway infrastructure capacity. 2006, University of Zilina, Slovakia.
 25. Abril, M., Barber, F., Ingolotti, L., Salido, M.A., Tormos, P., Lova, A.: An assessment of railway capacity. *Transportation Research Part E*. 44(5), 774-806 (2008).
 26. Harrod, S.: Capacity factors of a mixed speed railway network. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 45(5), 830-841 (2009).
 27. Gorman, M.F.: Statistical estimation of railroad congestion delay. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 45(3), 446-456 (2009).
 28. Dinger, M., Lai, Y., Barkan, C. Impact of train type heterogeneity on single-track railway capacity. in *Transportation Research Board 88th Annual Meeting*. 2009. Washington DC.
 29. 鍾志成, 李治綱, 盧麗嵩, 張仕龍, 張恩輔, 林國顯, 蘇振維, 劉昭榮, 軌道容量研究-臺鐵系統容量模式之建構分析(一). 2005.
 30. 鍾志成, 李治綱, 盧麗嵩, 張仕龍, 張恩輔, 林國顯, 蘇振維, 劉昭榮, 軌道容量研究-臺鐵系統容量模式之建構分析(二). 2006.
 31. Commission, E., *European Railways Optimisation Planning Environment - Transportation Railways Integrated Planning*. 2000. p. 131.
 32. Commission, E., *IMPROVERAIL Deliverable D1 - State of the Art in Railway Infrastructure Capacity and Access Management*. 2002.
 33. Martland, C.D.: *PMAKE analysis: predicting rail yard time distributions using*

- probabilistic train connection standards. *Transportation Science*. 16(4), 476-506 (1982).
34. Peterson, E.R., Taylor, A.J.: A structured model for rail line simulation and optimization. *Transportation Science*. 16(2), 192-206 (1982).
 35. Vromans, M.J.C.M., Dekker, R., Kroon, L.G.: Reliability and heterogeneity of railway services. *European Journal of Operational Research*. 172(2), 647-665 (2006).
 36. D'Ariano, A., Pranzo, M., Hansen, I.A.: Conflict resolution and train speed coordination for solving real-time timetable perturbations. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 8(2), 208-222 (2007).
 37. Tornquist, J., Persson, J.A.: N-tracked railway traffic re-scheduling during disturbances. *Transportation Research Part B*. 41(3), 342-362 (2007).
 38. Wendler, E.: The scheduled waiting time on railway lines. *Transportation Research Part B*. 41(2), 148-158 (2007).
 39. Tsang, C.W., Ho, T.K.: Conflict resolution through negotiation in a railway open access market: A multi-agent system approach. *Transportation Planning and Technology*. 29(3), 157-182 (2006).
 40. Delorme, X., Gandibleux, X., Rodriguez, J.: Stability evaluation of a railway timetable at station level. *European Journal of Operational Research*. 195(3), 780-790 (2009).
 41. Briggs, K., Beck, C.: Modelling train delays with q-exponential functions. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 378(2), 498-504 (2007).
 42. Higgins, A., Kozan, E.: Modeling train delays in urban networks. *Transportation Science*. 32(4), 346-357 (1998).
 43. 李治綱, 陳朝輝, 簡聰裕: 捷運鐵路列車延滯事件發生後行車調度策略之模擬分析. *運輸計畫*. 31(2), 299-321 (2002).
 44. Tomoeda, A., Komatsu, M., Yoo, I.Y., Uchida, M., Takayama, R., Nishinari, K., Real-time railway network simulator "kUTTY", in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. 2008: Yokohama. p. 433-440.
 45. Hofman, M., Madsen, L., Groth, J., Clausen, J., Larsen, J., Robustness and Recovery in Train Scheduling-a simulation study from DSB S-tog a/s. 2006, Informatics and Mathematical Modelling, Technical University of Denmark, DTU Lyngby.
 46. Hooghiemstra, J.S., Teunisse, M.J.G. Use of simulation in the planning of the Dutch railway services. in *Winter Simulation Conference Proceedings*. 1998. Washington, DC, USA: IEEE.
 47. Franzese, L.A.G., Fioroni, M.M., Botter, R.C. Railroad simulator on closed loop.

- in Winter Simulation Conference Proceedings. 2003. New Orleans, LA.
48. Rizzoli, A.E., Fornara, N., Gambardella, L.M.: A simulation tool for combined rail/road transport in intermodal terminals. *Mathematics and Computers in Simulation*. 59(1-3), 57-71 (2002).
 49. Simone. 2010; Available from:
<http://www.incontrolsim.com/index.php/de/railway-timetables-simone.html>.
 50. ProRail. 2010; Available from: <http://www.prorail.com/>.
 51. Enterprise Dynamics. 2010; Available from: www.EnterpriseDynamics.com.
 52. Schlenker, H., Distributed constraint-based railway simulation, in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. 2005: Potsdam. p. 215-226.
 53. Hallowell, S.F., Harker, P.T.: Predicting on-time performance in scheduled railroad operations: Methodology and application to train scheduling. *Transportation Research Part A*. 32(4), 279-295 (1998).
 54. Advanced Rail Technologies - Funkwerk. 2011; Available from:
<http://www.advancedrailtech.com/funkwerk-it.html>.
 55. Innovative Scheduling - Optimization In Action. 2011; Available from:
<http://www.innovativescheduling.com/company/index.aspx>.
 56. RailSIM. 2011; Available from: <http://www.railsim.com/>.
 57. Rail Traffic Controller. 2011; Available from:
<http://www.berkeleysimulation.com/>.
 58. RailSys. 2011; Available from: <http://www.rmcon.de/>.
 59. OpenTrack. 2011; Available from:
http://www.opentrack.ch/opentrack/opentrack_e/opentrack_e.html.
 60. 臺灣鐵路管理局. 臺灣鐵路管理局網站. 2011; Available from:
<http://www.railway.gov.tw/tw/index.aspx>.
 61. 臺灣鐵路管理局. 團體車票訂購系統. 2011; Available from:
<http://resgt.railway.gov.tw/groupticket/index.htm>.
 62. 交通部台灣鐵路管理局動力車乘務員勤務時間排班須知, 台灣鐵路管理局, Editor. 2004.
 63. Cacchiani, V., Caprara, A., Toth, P.: Scheduling extra freight trains on railway networks. *Transportation Research Part B: Methodological*. (In Press) (2010).
 64. Ahuja, R., Magnanti, T., Orlin, J., *Network flows: theory, algorithms, and applications*. 1993, Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice Hall.

附錄 1

交通部運輸研究所 ☒ 合作研究計畫第 2 類 ☐ 委託研究計畫 ☒ 期中 ☐ 期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：臺鐵包車營運需求下列車班表之研究

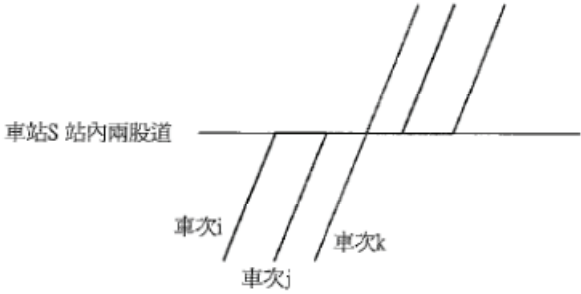
執行單位：財團法人成大研究發展基金會

參與審查人員及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
陳委員世昌(書面意見)		
P.19 有關郵輪式列車應屬班表外加開車次。	謝謝指正，已修正並納入期末報告書。	同意辦理。
P.25 人車路資源、調派，包括機班、機車、車班編組(非機車班)。	謝謝指正，已修正修正摘要及相關各節並納入期末報告書。	同意辦理。
P.25 列車編組調度課題		
(1)機車於終點站不是迴送而是運用變更。	謝謝指正，已修正並納入期末報告書。	同意辦理。
(2)目前由花蓮站經七堵到大甲已不需變換機車。	謝謝指正，已修正並納入期末報告書。	同意辦理。
(3)列車到終點大甲站後，再依編組運用迴送至機務段，非報告內所述的客車編組與機車分開。	列車抵達終點大甲後即將客車編組與機車分開並非報告原意。已於期末報告書加強說明。	同意辦理。
許委員書耕		
資源、運用在求解模式中是否假設為容量限制？	本模式以求解插入新增列車之後的新班表為主，並未將編組運用等納入考慮。	同意辦理。
本計畫研究之臨時列車排班與路局建置派遣系統之介面如何結合有無構想。	本計畫之研究成果可獨立建置軟體使用，亦可利用下列兩種方式之一與臺鐵局之相關軟體結合：以本計畫之成果建置演算核心，配合臺鐵局相關軟體之介面使用。 以本計畫之成果建置獨立執行之軟體，而以資料拋轉之方式與臺鐵區相關軟體互為配合共享輸入與輸出資料。	同意辦理。

台鐵目前對臨時列車之辦理作業現況應分析其流程，了解關鍵影響要素為何？本研究建構之求解模組，屆時若可應用對其效益為何？	<p>臺鐵局目前之作業模式為序列式，亦即前一階段作業完成後再接續後一階段之作業。衡量其環環相扣之作業內容，此一程序之設計有其必要性。</p> <p>本研究之成果，於此方面未來之效益可分下列三項：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 於作業程序中班表之排點為其中甚為耗時之一環，本研究之成果未來若落實於後續系統建置，將對作業時程之縮短以及工作品質具有相當之貢獻。 2. 班表排定工作之自動化，有助其餘作業項目之自動化，例如列車編組運用與機班運用作業等均為相關。 3. 本研究之成果可應用於未來全面自動化排點系統。 	同意辦理。
鍾委員志成		
1.整體意見		
(1)臺鐵面臨路線容量不足的問題，定期班次有很多都已經壓線在跑，表示目前的班表其實已經是不可行的班表，在此前提之下求解不定期班次是否有需要？實務上是否可行？	不定期班車班表之求解為本研究之主題，有其明確之可行性與重要性，應無疑義。	同意辦理。
(2) 研究過程是針對模式來求解，求出來的結果是否適當，取決於模式是否忠實反映實務運作的需求以及模式所需的資料在實務上是否可以取得。建議研究報告中，對於相關的假設以及符解決問題說明清楚，了解使用這個模式時必須要克服的問題以及其限制條件，如此對於研究人員或實務參與者，會有比較大的幫助。	<p>本研究之主旨為發展可用之數學模式以求解新增列車如何排入背景班表中。</p> <p>求解結果是否適當，確實是受到資料正確性之影響。資料正確為任何資料庫之首要條件，惟排點相關資料與參數之蒐整與校正並非本研究之範疇。</p>	同意辦理。

2.容量計算的意見		
(1)文獻回顧提到路線容量計算的問題，並說 UIC 已宣告終止使用 UIC405 的計算方法，其實並非如此。UIC 在 1996 年公佈 UIC 405 OR 以取代 UIC 405-1，並於 2004 年再發布 UIC406，但並未強制要求不得使用 UIC405OR。	「強制要求不得使用 UIC405OR」並非報告本意，報告中亦無此語句。期末報告書語句修正為「不再作為標準」以避免誤解。	同意辦理。
(2)容量計算可以從在規劃、設計以及營運階段，在營運階段如果有計畫營運的班表，建議採用 UIC 406 來計算，如果在規劃評估階段，由於並沒有未來的實際營運班表，因此必須利用一些規劃或設計參數，計算出可能的容量值或容量的期望值，這時候解析模式或模擬模式仍然可用。	謝謝指正。於規劃評估階段若無班表，確實難以利用較精細之 UIC406 方法評估容量。為此本研究之數學模式有助規劃人員在各種不同情境下快速解得各種班表，將有利規劃評估單位精準評估容量，亦為本研究成果未來重要應用之一。	同意辦理。
(3) UIC405 的缺點是考慮的變數太少，過於粗略，事實上，歐盟在 20 世紀末期以及 21 世紀初期，開始 Europe-Trip 以及 Improverail 計畫中，都有發展各細緻的解析模式、最佳化模式以及模擬模式來計算容量，同時也提到不同情況下必須使用不同的模式。	謝謝指正。其中 Europe-Trip 為 2000 年已完成之研究計畫，而 Improverail 則於 2002 年完成。兩者均在 UIC406 文件正式公告生效之前。	同意辦理。
(4)在比較精細的解析模式或模擬模式中，號誌時隔是模式的輸出之一，故可以反映各種設計參數變化對容量的影響，在最佳化模式中，號誌時隔是輸入資料，模式本身無法評估規劃設計參數變動的影響，因此如果要評估路線容量對於規劃設計參數的敏感度，最佳化模式有其侷限之處。	謝謝指正。如何評估路線容量對於規劃設計參數的敏感度確有其重要性，惟並非本研究之範疇。	同意辦理。

(5)建議補充說明解析模式、模擬模式及最佳化模式對於容量計算上的優缺點以及適用情況。	解析模式、模擬模式及最佳化模式對於容量計算上的優缺點以及適用情況等相關說明已詳述於其他資料[16]，已於期末報告書補充引述該文獻。	同意辦理。
3.路徑模式的意見		
(1)P31 圖 4.3-2 中，橫渡線是否也在模式中視為一個區間？剪式橫渡線是視為兩個獨立區間或一個共用的區間？建議適當補充說明將站內股道切分「區間」的規則為何。	圖 4.3-2 中之橫渡線亦為區間，已於圖中補充註記。 區間指在任一時間僅能容納至多一列列車之一段鐵路，於期末報告書將補充明確定義。	同意辦理。
(2)4.4 節標題，多了一個「新」字。	謝謝指正。	同意辦理。
(3)依研究報告對於區間的劃分，車站內存在不只一個區間，而且一條進路會由很多的區間組合而成，但圖 4.4-6 的模式似乎無法反映進路的設定問題。例如，要停靠圖 4.3-2 的股道 3，必須區間 2、區間 3、區間 4 形成進路，路徑模式中如何反應？	進路之考量並非圖 4.4-6 之股道分配模式所涵蓋。該模式所求解者為「是否存在無衝突之股道分配方式」。此與進路並不相同。	同意辦理。
(4)同前，臺鐵有些複雜的車站配置，從站間的某一股道進入站內的同一股道可能有許多進路都可以成立，因此一條進路的區間組合會有很多變化，模式如何反應？	進路乃反映於行點模式。亦即，車站配置不同，所對應之模式參數即為不同。	同意辦理。
(5) 圖 4.4-6 之模式係以站內兩股道的簡單車站進行推導，當站內股道數超過 2 股道時，模式該如何擴充？	圖 4.4-6 股道分配模式對股道數量並未作任何假設，因此亦無擴充之需要。	同意辦理。
(6) 圖 4.4-6 之模式僅能確保列車在其行經的每一個車站內都有股道可以通過或停靠，但如何確保站間不會發生不當追越及交會？	本模式係假設背景班表為給定，因此其中之任何追越及交會是否不當，並不在本模式討論範圍內。新增列車與背景班表之交會與追越，則由最短路徑模型之建立控制之。	同意辦理。

<p>(7) 圖 4.4-6 之模式，似乎無法完全考慮列車衝突的情況，以下圖為例，車站 S 內僅有兩股道，列車 k 追越過兩先行列車 i 和 j，根據模式所建構的限制式如下：</p>	<p>審查意見漏列下列限制式：</p> $b_{i1} + b_{j1} \leq 1$ $b_{i2} + b_{j2} \leq 1$	<p>同意辦理。</p>
<div style="text-align: center;">  <p>車站S 站內兩股道</p> <p>車次i 車次j 車次k</p> </div> $b_{i1} + b_{k1} \leq 1$ $b_{i2} + b_{k2} \leq 1$ $b_{j1} + b_{k1} \leq 1$ $b_{j2} + b_{k2} \leq 1$ $b_{i1} + b_{j2} = 1$ $b_{j1} + b_{j2} = 1$ $b_{k1} + b_{k2} = 1$ $b_{tr} \in \{0,1\} \forall t \in T, r \in R$ $T = \{i, j, k\} \quad R = \{1,2\}$ <p>其中一解為 $(b_{i1}, b_{i2}, b_{j1}, b_{j2}, b_{k1}, b_{k2}) = (1,0,1,0,0,1)$，而列車 i 和 j 在股道 1 會發生衝突。</p>		
<p>(8)排點實務上，每一股道都不相同，例如通過列車僅能使用主正線，停靠列車必須使用有月臺面的股道，圖 4.4-6 的股道分配模式似乎無法反映實務作業的需求。</p>	<p>該模式之目的在判斷是否存在無衝突之股道分配方式。已於期末報告書加強說明以避免誤解。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>(9) 臺鐵是環島路網，而非線性路網，有些郵輪式列車(環島之星)可能會繞台灣一圈，最短路徑模式(圖 4.4-7)會變成迴圈網路，此時如何求解？</p>	<p>在空間上確是回到起點，但由於時間單向推移的性質，任何列車於時空中並不可能回到起點，亦無形成迴圈之可能性。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>(10)由於台鐵有山海線的分開及合併路網，且每列車的起迄皆不相同，路徑模式是否依然適用？</p>	<p>路徑模式理論基礎之證明並未假設無山海線。因此應用上亦無此限制。</p>	<p>同意辦理。</p>

<p>(11)對照圖 4.4-5，圖 4.4-7 中節點 3 至節點 5 的路徑似乎不成立，建議修改使兩張圖的結果一致。另外，為何中間路徑的成本為 0，其餘為 1？若是如此，亦無需求解最短路徑了，中間的路徑即是。</p>	<p>如圖標題所示，圖 4.4-5 為示意圖，用以解釋基本概念。該圖中並無各車站之股道資訊，原本即無法用以判斷各節點間之節線是否存在，圖之用意亦不在此。若某節線因股道不適當，或因審查意見所揭示之狀況，而無法供列車通過時，即為報告書所指之「若求解股道分配模式發現存在有路徑，則該在圖 4.4-7 之網路模型中建立該節線。否則即無該節線」。由於中間路徑上之節線不一定存在，因此即便將所有中間路徑上之節線成本設為 0，其最短路徑亦不一定在中間路徑。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>4.行點模式的意見</p>		
<p>(1) 臺鐵一公佈時刻表，在下次改點之前，幾乎不可能更動時刻表的內容，否則旅客會無所適從；另外，定期班表的預售票早在 2 週前就開始售票，票賣出去其實是不能更改發車時間的，所以求解過程不應該動到定期班表，但很可能沒有可行解。</p>	<p>模式求解之目的並不在更改時刻表，亦不會更改時刻表。期末報告書已有更完整之論述與說明。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>(2) 臺鐵全天都有列車運行，超過 24 小時的部份模式如何處理？</p>	<p>超過 24 點之後的時間，於模式中以 25 點、26 點計。復於輸出時再予以適當轉換呈現即可。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>(3) 區間與區間之間的拓撲以及關連性在模式中如何反應？</p>	<p>區間與區間之間的關聯性為輸入資料之一部份，並非模式所能求解得到。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>(4) 模式中對於 V 並沒有定義，是否應分成兩個集合，一個是定期班表列車，一個是新加入的列車。</p>	<p>V 為所有車次所成的集合，已於期末報告書補充。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>(5) 如果列車分成兩種集合，針對定期列車以及加開列車是否會有不同的限制式</p>	<p>背景班表中之各車次，與新增列車於行點模式中之基本性質相同。其間之差異均在參數數值，</p>	<p>同意辦理。</p>

	因此即便區分成不同集合，其限制式通式仍然相同。	
(6) T_{hk}^{ext} 的定義建議改為「理想佔用時間」，「延伸佔用時間」一般人不易了解。	該參數之用意並非理想佔用時間。如此修正將偏離原意。	同意辦理。
(7) r_k 的定義建議改為車次 k 之理想發車時間與排點後發車時間之差的絕對值	目前即為此定義無誤。	同意辦理。
(8) P29 所提到之假設為： 「背景班表含有完整之資訊，包括每一列車進入與離開每一區間之時分」，惟列車行駛每一個區間的時間，與路線特性、車輛性能、是否停靠有關，組合相當複雜。實務上幾乎無法取得 A_{hk} 、 D_{hk} 的資料！就排點實務而言，也不會操作到如此細節的資料。如果沒有正確的資料，模式求解出來的結果的可用性會大幅降低。	利用列車運轉模擬應可推得 A_{hk} 、 D_{hk} 的資料。 本模式具有詳細考慮這些細節之能力。若排點實務上不會操作到如此細節的資料，則對應的參數以排點實務所需之精準度估計之即可。	同意辦理。
(9) 運轉時隔受到號誌及連鎖系統的控制，時隔限制式 4-5-10 需要每一個小區間的時隔，惟實務上很難取得，特別是在車站內，這是由連鎖的進路所控制，不會有單一小軌道區間的時隔，比較符合實務的作法是利用進路來控制列車的時隔。	利用列車運轉模擬應可推得每一個小區間的時隔。	同意辦理。
(10) 式 4.5-11， $d_{B_{hk},k} = a_{hk}$ 應改為 $d_{B_{hk}} = a_{hk}$	謝謝指正。	同意辦理。

(11)爲了維持列車運轉的空間連續性，行點模式必須有每一列車運轉過程所經過的每一「區間」的序列，但路徑模式中並沒有求出如此細節的資料，特別是車站連鎖區，建議可以說明模式的運作細節。	此項爲模式建立時所處理，並非模式所求解。	同意辦理。
(12) $Trip_k$ 是否應與 T_{hk}^{min} 建立關係式？	兩者均爲參數，如此建立的關係式將不含變數。	同意辦理。
(13) y_{hk} 是否應與 $delay_k$ 建立關係式？	兩者僅有間接關係而非直接關係，並不需要以限制式直接建立其關係。	同意辦理。
(14)模式中將發車時間的變動量以及班表的延遲量做三段式的分割，請問如何確保第二段的延遲量會在第一段的延遲量發生後才會發生？式 4.5-8、4.5-9 以及式 4.5-14、4.5-15 似乎無法保證這樣的結果！是否應對權重的大小關係做限制？	第二段延遲量在目標式之係數小於第一段之係數並不合邏輯。	同意辦理。
(15)建議說明模式的規模與列車數量、車站數量、區間數量的關係，有助於理解模式的規模的變化情形。	股道分配模式之問題規模與車站數無關，爲簡單之 $O(T \times R)$ 關係，其中 T 爲所有股道總數，R 爲列車總數。行點模式之規模則爲 $O(B \times R)$ ，其中 B 爲區間總數。然而求解時間與問題規模並無緊密關係。	同意辦理。
本所運輸計畫組劉研究員昭榮		
建議報告內增加說明本研究之所建構之模式於整體鐵路營運系統之定位。	遵照辦理，已於期末報告書說明。	同意辦理。

陳委員一昌		
1. 報告內敘述 UIC406 對於軌道容量之議題，建議再予釐清。	UIC406 文件為 2004 年所公告的路線容量評估新方法，較舊方法有許多改善。本研究並未對路線容量分析方法提出創見，僅以文獻回顧之方式綜合呈現、整理 UIC406 之相關論述與應用，以及數個國家根據該文件以發展本土化路線容量評估方法之資料。	同意辦理。
2. 文獻回顧中發現對於臨時班表方面文獻較少，其可能原因為何？	在背景班表中加入新增車次，所需之衝突排解等數學技術與排定新班表相同。而相異處為背景班表所相伴之額外限制。例如，排定新班表時，所有列車均可以依需要而調整通過車站之順序。但背景班表已經公告，並不容許調整順序。因此加入新增車次之難度較高。較高之技術門檻可能是文獻較少之主要原因。	同意辦理。
3. 若後續台鐵陸續完成電氣化是否會有利班表之求解。	臺鐵若達成動力一元化之目標，將可減少途中更換機車之需求。對實務作業上之編組、機車、機車之調度均可簡化，對班表之求解亦有簡化作用。	同意辦理。
4. 依台鐵說明似乎機車回送對於班表排定影響甚大，有沒有可能參考海運之空艙便載觀念，減低對班表影響。	迴送機車附掛於其他列車之「無火迴送」作法已為臺鐵所採用。但並非每次機車迴送均能如此。	同意辦理。
臺灣鐵路管理局		
1. 人、車部分路局正建置派遣系統，本計畫為針對路(班表)部份之臨時列車排點技術進行研究，是否可考量定期列車影響與運輸效率之前提下，提出臨時列車之最適運行班表。	本研究提出之數學模式，其目的即在求解臨時新增列車之最適運行班表。	同意辦理。

<p>2. 本局 9/28 定期班表已調整，是否可考量於期末報告時以實際班表作一臨時班表排定之展示，本局可配合提供相關資料。</p>	<p>遵照辦理。</p>	<p>同意辦理。</p>
--------------------------------------------------------------------	--------------	--------------

附錄 2

交通部運輸研究所 ☒ 合作研究計畫第 2 類 ☐ 委託研究計畫

☐ 期中 ☒ 期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：臺鐵包車營運需求下列車班表之研究

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

參與審查人員及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
范委員植谷		
包車雖然運轉成本高但收益也很高，是臺鐵未來重要的營運型態之一，感謝運研所辦理本研究，對研究成果亦給予肯定。	感謝委員肯定及指正。已依據本項意見補充於「本研究之重要性與定位」乙節。	同意辦理。
臺鐵目前車班、機班、車輛均不夠，車輛可靠度亦不夠，使得現況無法完全達到外界期待。	行點排定、機班運用、與車輛運用三者確為鐵路營運計畫之人、車、路三大課題。本項意見已納入期末報告之「後續研究與發展」乙節。	同意辦理。
本研究成果很務實，應能解決臺鐵之需求，後續研究應以 ATP 紀錄校正擾動量，臺鐵局可配合提供資料。	以真實數據校正擾動量分佈確為未來重要方向。本項意見已納入期末報告之「後續研究與發展」乙節。	同意辦理。
鍾委員志成		
1. 整體意見		
本研究經費及時程均不多，作為包車營運需求列車班表的基礎研究，研究成果很有價值。	感謝委員肯定。	同意辦理。
針對期中報告的審查意見回覆，如說明將於期末報告中補充或修正者，建議明確說明修改於報告的哪一個章節，以方便對照閱讀。	依合約規定，期中報告提出審查意見回覆之期限在期末報告之前，並以公文正式提送。於期末報告完成前並無法確定各相關內容之位置，而期末報告完成後亦無從修正先前已正式提送之期中報告審查意見回覆。期末報告則無此狀況，自當明確說明各項修正之位置。	同意辦理。

<p>爲了讓後續的研究及實務能夠受益於本研究的成果，建議能夠於研究報告本文中說明模式的操作需求、作業細節及使用限制，以增加報告的可讀性，例如：</p> <ul style="list-style-type: none"> •如何從股道配分配模式的結果求得每一列車行經的區間組合以做為行點模式的輸入 •如何計算及管理每一列車在每一區間的運轉時間 •模式未考慮到列車使用月台面限制等之改善 •對於模式所需的每一小區間的運轉時間以及運轉時隔等關鍵資料的計算列入後續研究建議 	<ul style="list-style-type: none"> •股道分配模式之求解結果說明了所有列車使用所有股道之順序。因此所有列車行經所有區間之順序亦已確定，據此即可決定行點模式所需之 $P^-(h,k)$ 參數與其他參數。本項說明已納入期末報告「新增列車行點數學模型」乙節。 •列車於每一區間之運轉時間有各種不同的計算方式，例如基本的牛頓力學模擬即可計算得到此項運轉時間。管理方面則涉及資料庫之建置，以及資料庫與求解軟體間之互動，本研究並未及於該課題。 •該模式具有股道分配之能力，其中月台僅爲可考慮諸多因素之一，因此未予以特別列舉。每一股道是否臨月台面爲既定之事實，並非模式求解決定。因此於模式使用時，若有因月台之考慮或其他之因素欲限制必須使用某股道或不得使用某股道之需求，可直接設定對應變數之值，並不影響報告所列之通式型式。本項說明列於期末報告「新增列車路徑數學模型」乙節。 •每一小區間的運轉時間以及運轉時隔等關鍵資料，實爲自動排點所需資料之一環。本項已予擴充並納入「後續研究與發展」乙節。 	<p>同意辦理。</p>
<p>2.容量計算的意見</p>		
<p>針對期中報告容量計算的第二點審查意見，在規劃設計階段，並不會有明確的行車計畫及排點所需的所有正確資訊，</p>	<p>經查本報告從未建議應窮舉所有可能去排點。本報告與本項意見略有相關之部份應爲「路線容量評估技術相關文獻」乙節中，引</p>	<p>同意辦理。</p>

此時窮舉所有可能去排點再計算路線容量並不務實。	用自文獻之「鐵路容量的分析必須奠基於該鐵路已排定的真實或情境班表之上」。該節附有 UIC406 文獻之相關原文，應可明確顯示其中並未主張應窮舉所有可能。	
曾與參考文獻 19~23 的作者 Landex 討論認為，此為 UIC406 的限制，因此 UIC 僅建議而未強制使用 406。在規劃設計階段不可能有實際營運班表時，解析模式或模擬模式仍有其必要性，建議能補充說明 UIC406 適用的限制條件。	如期中報告審查意見回覆所說明，本報告從未提出應強制使用 UIC406 方法之建議，於期末報告書亦無此項。至於 UIC406 適用限制條件之探討，因本研究並非以路線容量為主題，應不屬研究之範圍。	同意辦理。
3.路徑模式的意見		
針對期中報告路徑模式的第三點及第四點審查意見，研究單位的答覆是進路是反映於行點模式，惟報告中第 44 頁又假設行點模式必須給定所有車次的路徑，建議報告中能夠補充說明如何從股道分配模式的結果求得每一列車的行駛區間的組合(含行經的閉塞區間、橫渡線、轉轍器以及股道等)的方法與過程。	新增列車行點數學模型使用之參數中有部份項目與列車所使用之區間有關，例如 B_k 集合之決定。而依據本研究所使用之軌道模型，區間包含了所有的閉塞區間、橫渡線等等。這些參數之設定反映了進路的考慮。而如何設定則由新增列車路徑數學模型以及最短路徑模型所決定。為此於建立本模型之前必須先求解新增列車路徑數學模型以及最短路徑模型。已說明於期末報告「新增列車行點數學模型」乙節。	同意辦理。
針對期中報告路徑模式的第七點審查意見，研究單位答覆是審查意見漏列了兩個限制式，惟根據圖 4.4-6 的股道分配模式，列車 i 及 j 並未在車站 S 變更順序，為何需要增加兩個限制條件，是否模式有誤，建議補充說明。	期中報告審查意見並未說明列車 i 與 j 未在車站 S 變更順序。當此二列車在車站 S 變更順序時，確是漏列二條限制式，模式並無錯誤。	同意辦理。

針對期中報告路徑模式的第八點審查意見，回復意見於報告中加強說明，請說明於期末報告之章節。	此部份說明於「增加包車班次之列車排班模式」乙章中之「新增列車路徑數學模型」乙節。	同意辦理。
針對期中報告路徑模式第 11 點審查意見，建議研究單位對照圖 4.4-5 的範例來修正圖 4.4-7，以方便閱讀及理解。	於報告的架構設計上，圖 4.4-7 之功能在說明最短路徑模型之構造，其主要目的並非在說明利用圖 4.4-5 所建立之最短路徑模型為何。事實上由於車站股道配置均未顯示，因此圖 4.4-5 所提供之資訊亦不足以建立任何最短路徑模型。準此，若於圖 4.4-7 中去除目視圖 4.4-5 可發現的無路徑組合所對應之節線，恐將誤導讀者以為其他組合均應有對應之節線存在，造成理解上更大之障礙。為此，報告文字亦說明所有節線均對應新增列車行駛之可能性，讀者應可明瞭。	同意辦理。
4.行點模式的意見		
針對期中報告行點模式的第二點審查意見，研究單位答覆對於超過 24 小時的部份，以 25 點或 26 點計，惟此時會忽略掉 0 點及 1 點的列車，如將凌晨的列車補充於 24 點以後，萬一求出的結果跟凌晨的列車行點不一致時，又該如何處理？	以臺鐵過去的紀錄，並未發現有單一不定期列車持續行程長度超過 24 小時者。因此建立數學模型時若選擇以 26 點為最末時間，則最始時間設定在凌晨 2 點即可，並不會發生審查意見所描述之狀況。	同意辦理。
針對期中報告行點模式的第八點及第九點的審查意見，由於模式所需的輸入資料並非一般排點實務所具備的資料，雖然參數不是模式的責任，但對於模式的應用卻有很大的影響，建議直接於報告本文中補充說明模式所需參數的取得及計算方式，以便後續的研究或應用能夠清楚了解應用模式時必須克服的問題。	此處所謂「一般排點實務所具備的資料」應指一般人工作業時所使用之資料。然而排點工作進入自動化時，所需要之資料項以及精密度均與人工排點不同。其間所需之技術層級相對不高，但資料之建置與校正為其中之關鍵。由於參數的建置並非本研究之目的，本項說明補充於「後續研究與發展」乙節。	同意辦理。

針對期中報告行點模式的第 14 點的審查意見，研究單位並未答覆如何確保第二段的延遲量會在第一段的延遲量發生後才會發生?式 4.5-8， 4.5-9 以及式 4.5-14，4.5-15 似乎無法保證這樣的結果!是否應對權重的大小關係做限制?	模式本身並非為防止意見所描述之不合理結果而設計。此一機制係以使用者正確設定參數為之。依數學規畫基本學理，對參數值之限制並非模式之一部份，亦無法作為模式之一部份。合理之參數設定方有可能得到合理之求解結果；而若刻意作第二段延遲量在目標式之係數小於第一段之係數等不合理之參數設定，並無礙於模式之求解動作，但所得到之解亦有可能因而不合理。	同意辦理。
5.班表穩定度評估的意見		
第 51 頁假設運轉時間的擾動為指數分配，是否有理論根據或經過實務驗證，建議補充說明。	指數分配具有無記憶 (memoryless)特性，適合作為此類隨機量之模型分配。而臺鐵系統之實際擾動分配並未經過任何深入研究分析。此為重要課題，已補充說明於「後續研究與發展」乙節。	同意辦理。
實務上運轉整理時調度員會變更列車的運轉順序，研究報告內的擾動評估時是否也會變更列車的運轉順序，建議補充說明。	擾動評估意在估計由軌道、班表、擾動、整理所構成之系統在運轉時之回復力。本研究並未觸及運轉整理技術之課題，亦未討論運轉整理時如何變更列車運轉順序。	同意辦理。
邱委員裕鈞		
本研究研究主題非常明確，列車排班相當複雜，但本研究已考量大部份實務問題，研究成果具體可行，值得肯定。以下針對理論模式及報告內容兩部份，研提意見如下:	感謝委員肯定。	同意辦理。
1.理論模式部份。		
模式的決策變數應該只有 ahk 及 dhk 兩類，其他決策變數均是依據此兩決策變數及背景班表及預期班表所計算出的結果，請釐清。	行點模式確是以 ahk 及 dhk 為主要決策變數。然而此二類變數於目標函數中之係數均為 0。因此模式運作上其他決策變數亦有各自之重要功能。	同意辦理。

模式中第 1、3 段的意義，請再補充說明，以利判讀。	其目的在使得模式在極小化目標函數值的驅使下，最佳解中各車次之發車時間與理想發車時間之差距，以及各車次之行車時間，均趨向於最小。已補充於「新增列車行點數學模型」乙節中有關目標函數之說明。	同意辦理。
決策變數 ah_k 及 dh_k 是否需要加上非負限制式？	理論上需要，但實務操作上由於發車時間將儘量接近理想發車時間，因此除非理想發車時間設定為負值或接近 0，否則於最佳解中這些變數將不會成為負值。	同意辦理。
如何求解此一模式？本模式主要奠基在研究團隊先前在 Transportation Research Part B 所發表的文章上，該文提出一個啟發式解法。請問該啟發式解法是指將排點問題拆解為路徑問題、排點問題及模擬問題，分別求解。還是排點問題另外還需要一個啟發式解法進行求解？	先前於 Transportation Research Part B 所發表的文章，其主題在求解一個全新的班表。在該狀況下，可行初始解之獲得為一困難點，因此需要設計啟發式解法以引導整個求解過程。本研究係在給定之可行班表中插入新增列車，所面對之問題並不相同。因此求解時先求解順序模式得到最短路徑模型，再依據各區間中所有列車通過之順序建立行點模式並求解之，即可完成。若其中發現可行解不存在，則需重新建立最短路徑模型再行求解。若需要多數不同方案之可行解，則可變更理想發車時間以得到不同之最短路徑模型，重複求解即可。由於各次求解之間並無資訊回饋之機制，並不宜視為是引導求解過程之啟發式解法。已加強說明於期末報告「新增列車排點方案之求解」乙節。	同意辦理。
路徑問題所求解之結果（即包車班次的行駛區間之串接）如何輸入排點模式？因為排點模式中之 B_k 只是該列車行駛區	列車在運行時通過各區間之先後路徑關係為軌道佈設以及列車通過車站時股道分配所決定，並非由行點模式於求解過程中推算解	同意辦理。

間之集合，並未說明其先後之路徑關係？	得。其中軌道佈設方式為既定事實，而股道分配由順序模式以及最短路徑模型所決定。因此這些資料在行點模式均視為輸入項。	
列車（含機車及車廂）如何到達起始站及完成任務後，又如何後送回機廠，請再補充說明？此一問題與直接將機廠設為起站及迄站進行排點之結果不同。因為，當包車未進行載客服務時（後勤作業，如由機廠派車至起站及後送回機廠），其排點要求相對比較沒有時間壓力。	基本上所有列車之所有行程均始於基地，亦終於基地。然而正如審查意見所指出，進出基地之迴送車次與辦客行程之需求不同，因此實務上排點時經常將二者分開排點。本研究之測試例即是如此，亦即以辦客之行程之排點為例，測試模式之正確性與效能。實用上若欲一次求解以基地至基地之編組完整行程，只要依需求設定列車之行程即可，使用之數學技術並無不同。	同意辦理。
依本研究所提出之路徑及排點模式，應該均只能求出一個最佳解，為何會有多組解的結果產生？請說明。	多組解係以不同之包車理想發車時間等參數多次求解之結果，實務上可供排點人員選用。已加強說明於期末報告「新增列車排點方案之求解」乙節。	同意辦理。
2.報告內容部份		
報告中有關沿用原計畫書所撰擬之文詞者，例如，本研究將…及預定進度甘特圖等，應加以修訂或刪除。	遵照辦理。	同意辦理。
章節安排請依運研所研究報告格式調整。	遵照辦理。	同意辦理。
部份錯漏字，如規畫→規劃；mix-integer→mixed-integer。	謝謝指正。報告書依以下原則修訂： (1) 「規畫」均修正為「規劃」。「計畫」均修正為「計劃」 (2) 臺鐵局「計畫組」維持不變。 (3) 交通部運輸研究所「運輸計畫組」維持不變。 另 mix-integer 亦修正為 mixed-integer。	同意辦理。

汪委員進財		
本研究結果應予肯定。	感謝委員肯定。	同意辦理。
部份研究成果未納入結論中，應予納入。	已加強「後續研究與發展」乙節。	同意辦理。
模式是否有可能不存在可行解？	本研究所有使用之數學模式均有可行解不存在之可能。此時最有效之處理方式為變更新增列車之理想發車時間，重行求解。已加強說明於「新增列車排點方案之求解」乙節。	同意辦理。
所有的排程不外乎基礎排程、強健排程、與擾動回復三大課題。本研究分別就這些課題予以著墨，方向正確而完整。	感謝委員提供更具高度之視野。	同意辦理。
有關本研究晚點傳播的因素如何納入模式中，請說明。	晚點之傳播本身為相當複雜之隨機程序，本研究已知之國內外文獻均無以解析方式處理真實系統之能力。為此本研究以模擬方式處理之，並未納入於所提出之數學模式一併考慮。	同意辦理。
報告所提之 p 與 r 代表脆弱度與回復力。其中 r 值很複雜，其性質值得未來深入研究。	於研究設計中所提出之 p 與 r 參數確實是代表系統之脆弱度與回復力。於鐵路系統，回復力由軌道、班表、擾動、與整理所決定，其複雜程度遠超過本研究，以及所回顧之所有文獻之能力。多數研究均著眼於擾動之發生以及系統之脆弱度。其實回復力亦為不可忽視之重要因素。本項為重要課題，已納入「後續研究與發展」乙節中。	同意辦理。
模式是否有可能同時求解多數路徑，是否有助求解？	最短路徑問題之定義，以及其標準求解演算法，均以求解單一路徑為目的。即便多重最佳解存在，其求解結果亦為單一之 extreme point 。而最短路徑問題亦在此設計下方能得到高度之求解效率。由於同時求解多數路徑大	同意辦理。

	幅提高問題複雜度，因此實務操作上每次求解單一路徑，其總效率是較高的。	
如何整合人員、車輛等各種資源，可納入後續研究之建議。	行點排定、機班運用、與車輛運用三者為鐵路營運計畫之人、車、路三大核心課題。此為重要項目，已納入「後續研究與發展」乙節。	同意辦理。
第 34 頁「將列車加開、掛派遣系統直接拋轉予不定期列車排班決策輔助系統」如何做到，請說明？	由於「列車加開、掛派遣系統」之主要功能在自動查詢指定時段之可用編組與可用機班，因此可持續發展本研究之不定期列車排班模式，使其能在排定不定期列車行點的同時一併納入編組與機班之限制。於建置資訊系統時再配合使「列車加開、掛派遣系統」之輸出資訊直接拋轉予不定期列車排班決策模式，則可使大部份作業程序均達到自動化與最佳化，成為具備強大功能之決策輔助系統。已加強說明於「臺鐵現行不定期列車作業流程改善建議」以及「後續研究與發展」二節。	同意辦理。
第 37 頁「區間 2」與「區間 4」在圖中未標示。	謝謝指正。已修正「軌道模型與車次模型」乙節。	同意辦理。
晚點在班表中傳播的特性很複雜，可納入後續研究。	本課題不但複雜，而且對準點率、營運效率等均影響重大。此一重要項目已納入「後續研究與發展」乙節。	同意辦理。
陳委員世昌		
鐵路列車排點必須考慮、加減速、列車強度、坡度等因素。本研究結果還需要相當努力方能在實務上應用。	感謝委員指正，達到實務應用確為研究團隊的努力目標。	同意辦理。
目前包車排點作業時，機務處已派人員在綜合調度所參與作業，包車班表係由由綜合調度所一個單位整合執行。	謝謝指正，已配合修正於「臺鐵現行不定期列車作業流程改善建議」乙節。	同意辦理。

相關專有名詞之翻譯請改正，如 UIC 建議使用「國際鐵路聯盟」，「軌道容量」建議使用「路線容量」，「駕駛員」改為「司機員」。	謝謝指正，遵照辦理。	同意辦理。
表 3.2-1 各車次於 9 月 28 日改點後已改為 71 至 74 車次，請配合修正。臺鐵局組織中已無客運課，請刪除。	謝謝指正，已依臺鐵局最新網站資料配合修正於「團體列車申請作業流程及規定」乙節。	同意辦理。
測試例中的理想發車時間「7:50」似乎其他部份無關，其作用如何，請說明。	此為測試例中所設定之新增列車理想發車時間。該時間係選定一不可能依時排入之時間點，用以測試模式求解、尋找可用路徑之能力。	同意辦理。
交通部臺灣鐵路管理局		
運務處		
本研究案主要係模擬以臺鐵局現行臨時列車之需求、供給狀況及內部作業流程等，並在不影響定期班表（或影響程度最小）前提下，完成求解與排點作業；依報告書中 ch.6 測試例（p-53~67）提出 4 點問題。	答覆如下	同意辦理。
測試例以新左營－臺東間之南迴線鐵路為模擬範圍，但新增列車卻以枋寮－高雄間為主，似有落差，請說明。	列車運轉時的影響範圍超過其運行範圍。因此新增列車之運行範圍宜小於分析範圍，較能完整觀察其影響。	同意辦理。
測試例中行點表 6.3-1 與運行圖 6.3-2 似難對照，也不易辨別衝突位置與衝突影響範圍，請說明。	新增列車與背景班表之各列車之間並無衝突。	同意辦理。
依 ch.6.3 測試結果－7 種新增列車的排點可能方案，如何決定最適可行之方案（施行案）？請說明。	電腦輔助系統必須有能力獨力完成求解，但同時又能留下適當空間給操作人員作決策。因此測試例之設計方式為在軟體自動淘汰大多數品質較差之方案後，將較佳之方案以多案併陳，供操作人員圈選，並未要求或建議操作人員應選擇其中何案。	同意辦理。

<p>晚點圖應為模擬該列車開行時之列車運行狀況，但該新增列車(枋寮 07:03—高雄 08:59 間)卻影響新左營—臺東間全日列車準點率(如晚點圖 6.3-12)，請說明。</p>	<p>圖 6.3-12 係假設「新增列車有很大之擾動量」，而呈現其對整體班表之準點影響。本圖之用意為(1)具體呈現「一班車之擾動，其影響範圍可能很廣」之事實，以及(2)呈現本分析方法之效能。為了凸顯其影響，將新增列車之擾動量設定為 $p=3$，亦即在行經每座車站時，其隨機產生之擾動量平均值為 3 分鐘。在正常狀況下，真實列車發生如此擾動之機會微乎其微。</p> <p>又，期末報告定稿已將所有「晚點圖」一語修正為「準點圖」。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>本研究案係以南迴線鐵路(新左營—臺東間)為研究建置對象，請問排點求解過程中，各項排程參數是否已完整建置，或尚有不足、需改善之處；另本案結束後，可否提供路局排點研究或實務操作、印證的空間。</p>	<p>在路局長官之協助下，大部份參數均完整建置並以真實班表進行校正。但仍有部份自動排點所需之參數因為未使用於人工排點，本研究先使用合理推估值，未來有待精準建置。</p> <p>本案結束後，本團隊至為樂意配合路局進行後續之實務操作與印證。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>本研究案成果(排點求解)，未來擴及本局環島路線網運用時，需加強或注意哪些部分？另排點解衝突規劃與現有電腦排點系統，應如何整合與運用？</p>	<p>本研究案為了達到在第六章以真實數據進行模式測試之要求，除精密校正參數外，並深入瞭解排點實務上，用以描述排點人員知識經驗之隱性參數項目與數值。於本研究中，欲使測試例求得合理方案，此為必要工作。而這些工作亦為未來擴及路局環島路線網運用時，需加強或注意之最重要部份。</p> <p>在電腦系統整合與運用之課題上，有鑑於列車排點工作至為複雜，應朝向分散式系統規劃，亦即組成排點系統之多數模組各自獨立運作，並以集中式之資料交</p>	<p>同意辦理。</p>

	換相互緊密結合。在此架構下，排點解衝突、不定期列車排點、以及其他各種功能之模組均能順利整合運作。	
報告說明的軌道模型極為細緻，模式所使用之資料是否真的精緻到每一個橫渡線等等之精準度？	是的，本研究於準備測試例時已針對其所涵蓋之新左營至臺東路段建置精準、足以支持自動排點作業之資料。	同意辦理。
張副局長應輝		
對研究成果表示肯定。研究團隊對問題正確掌握，對業務之瞭解具有足夠之深度。	感謝委員肯定。	同意辦理。
後續研究可考慮更複雜的松山至宜蘭路段，包含汐止至八堵的瓶頸路段。	該路段確為重要之複雜瓶頸路段。未來高雄鐵路地下化工程完工後，新左營至潮州路段狀況將與松山至宜蘭路段類似。因此本項後續研究確有其重要性，且具有時效性。本項已補充於期末報告之「後續研究與發展」乙節。	同意辦理。
臺鐵局應可提供資料 ATP 與 CTC 等資料供後續研究之用。	感謝副局長支持。此為重要課題，對日後高度自動排點之達成具有關鍵影響。本項已納入「後續研究與發展」乙節。	同意辦理。

臺鐵包車營運需求下 列車班表之研究 期末簡報

- 財團法人成大研究發展基金會
- 報告人：李宇欣
- 2011/12/5

簡報大綱

- 前言
- 研究背景分析
- 臺鐵系統不定期列車營運現況
- 增加包車班次之列車排班模式
- 班表穩定度分析
- 測試例

緣起

- 「臺鐵包車營運需求下列車班表之研究」(以下簡稱本研究)係交通部毛部長於「交通部2010年陸海空重大交通政策論壇」中闡述交通部重大政策時，針對臺鐵後續發展提出數項議題，包括捷運化、多元化服務(觀光/主題charter...)等。其中，結合觀光、主題式旅遊之鐵路包車，經常有供不應求之情形，除因人員(機班)、車輛(機車班等)方面之限制外，如何在現行之定期列車班表中，解析出可行之各種包車班表方案，將有助提高臺鐵營運彈性。本計畫擬藉由列車排班模式之構建，評估營運之定期班表中，因應包車需求之班表方案。
- 研究目的在構建用以分析臺鐵現行營運班表下增加包車班次之列車排班模式。除了此一主要目的之外，本計畫並及於臺鐵相關作業流程之瞭解、分析、與改善建議之研擬。在模式構建方面並包含有班表穩定度之分析。
- 執行期限為100年6月23日至100年11月22日止，共計5個月。

3

研究背景分析

排點技術相關文獻

既有班表加入新增列車技術相關文獻

軌道容量評估技術相關文獻

運轉模擬相關技術相關文獻

4

排點技術相關文獻

混合整數規劃求解班表

- 同時求解離散量與連續量
- Carey, M.: A model and strategy for train pathing with choice of lines, platforms, and routes. *Transportation Research Part B*. 28(5), 333-353 (1994).
- Carey, M.: Extending a train pathing model from one-way to two-way track. *Transportation Research Part B*. 28(5), 395-400 (1994).
- Carey, M., Lockwood, D.: Model, algorithms and strategy for train pathing. *Journal of the Operational Research Society*. 46(8), 988-1005 (1995).
- Caprara, A., Fischetti, M., Toth, P.: Modeling and solving the train timetabling problem. *Operations Research*. 50(5), 851-861+916 (2002).
- 謝汶進 (1993), 鐵路列車排點模式之研究, 碩士論文, 交通管理學系, 國立成功大學.
- 鍾志成, 李治綱, 李宇欣, 盧麗嵩, 張仕龍, 張恩輔, 曾志煌, 賴威伸, 臺鐵車輛排程最適化之研究. 2006, 交通部運輸研究所.

5

排點技術相關文獻

混合整數規劃與基因演算法求解班表

- Chung, J.W., Oh, S.M., Choi, I.C.: A hybrid genetic algorithm for train sequencing in the Korean railway. *Omega*. 37(3), 555-565 (2009).
- 無衝突排除考慮

工作排程模式求解班表

- Liu, S.Q., Kozan, E.: Scheduling trains as a blocking parallel-machine job shop scheduling problem. *Computers & Operations Research*. 36(10), 2840-2852 (2009).
- 將列車通過股道視為工作通過機台
- 未能完整考慮實務需求
- 工作排程問題本身即不易求解

6

排點技術相關文獻

啟發式解法求解班表

- Lee, Y., Chen, C.-Y.: A heuristic for the train pathing and timetabling problem. *Transportation Research Part B: Methodological*. 43(8-9), 837-851 (2009).
- 周永暉, 張家祝, 黃承傳: 特殊假期鐵路列車排程規劃之分析模式. *運輸計劃*. 30(1), 63-87 (2001).
- 黃任由 (2006), 應用平行螞蟻演算法求解捷運列車班表問題之研究, 科技管理研究所, 中華大學, 新竹市.

平行與分散式計算

- Yang, C.-T., Lee, Y., Chen, C.-Y., Wu, M.-L., TrainWorld: A Decision Support System for Railway Timetabling, in Taiwan International Conference on Railway Technology. 2011: Taipei.

7

既有班表加入新增列車技術相關文獻

新增列車文獻

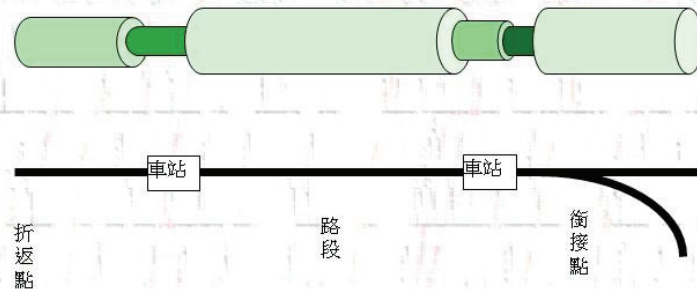
- Burdett, R.L., Kozan, E.: Techniques for inserting additional trains into existing timetables. *Transportation Research Part B: Methodological*. 43(8-9), 821-836 (2009).
- Cacchiani, V., Caprara, A., Toth, P.: Scheduling extra freight trains on railway networks. *Transportation Research Part B: Methodological*. 44(2), 215-231 (2010).
- Nagarajan, V., Ranade, A.G.: Exact train pathing. *Journal of Scheduling*. 11(4), 279-297 (2008).

8

軌道容量評估技術相關文獻

1970年代傳統方法

- 將軌道視為水管
- 無法考慮班表
- 折減量不易估計
- UIC於2004年公告不再作為標準(Abril, M., Barber, F., Ingolotti, L., Salido, M.A., Tormos, P., Lova, A.: An assessment of railway capacity. Transportation Research Part E. 44(5), 774-806 (2008).)



9

軌道容量評估技術相關文獻

UIC406觀念

- 鐵路容量為一段路線在一定資源、一定行車計畫下衡量列車通過能力的指標
- 所謂的鐵路容量並不存在，鐵路設施的容量因使用型態而異
- 鐵路容量的分析必須奠基於真實或情境的班表之上
- 一段鐵路尚具有剩餘容量並不同等於尚能夠容納更多的車次

新舊方法之比較

- 由片段的鐵路區間進而整體考慮全路線
- 列車互動之考量由前後車次間的時隔進而以完整班表為基準
- 納入廣義軌道資源的考慮
- 結合系統模擬以評估班表可靠度與運轉整理技術的影響
- 建立容量與班表可靠度關係曲線

10

運轉模擬技術相關文獻

班表執行過程為複雜的隨機程序

- 解析式數學模式需要簡化假設
- 模擬方法較具實用價值
- 存在多數商用軟體

11

臺鐵不定期列車分類

分類		說明	申請使用程序	班表外加開
團體列車		團體票優先且無比例限制	申購團體票	否
專開列車		應特定團體申請而開行	申請加開	是
郵輪列車		開行特定之列車，選定數個可以停留賞景之車站，各作一段時間之停留	購票	是
兩鐵列車	一般	開放人車同行	購票	否
	團體	包用區間車車廂	申購團體票	否
	加掛	加掛人車同行車廂	申請加掛車廂	否
	專列	加開專列	申請加開列次	是
軍運列車		國防部申請	申請加開列次	是
計畫性加開		特殊節日加開	購票	是

12

專開列車

申請規定

- 採定員申請制，總票價=車種費率X乘車里程X定員人數。
- 里程不滿100公里以100公里計。
- 乘車日20天前起至2個月內受理。
- 三個工作天內回覆，作業完成再通知申請人。
- 通知日起4日內至各車站繳付20%預約金。
- 乘車日10天前完成繳款，再於乘車日3天前完成取票。

變更規定

- 單一行程之車廂、乘車日、停靠站及時刻等僅可變更一次。
- 車廂數之變更至遲應於乘車日7天前申請，且變更後仍須符合基本定員。
- 減購之車廂數，其已繳之預約金不予退還。
- 變更後之乘車日仍須為2個月內。僅變更時刻，可於乘車日10天前申請。

退票規定

- 按定員數票價2成核收退票手續費，且至遲須於乘車日3天前辦理。

13

專開列車

車種	車廂數	基本定員	每次增加定員
推拉式自強號	12	568	不可增加
莒光號	5	232	1節48人
復興號	5	268	1節56人
商務車自強號 (每列次2名服務員計600元)	商務車3節 客廳車1節 餐車(不計費)1節	126	1節商務車(33人) 或1節客廳(21席+卡拉OK室旋轉椅6席)

14

臺鐵路相關組織



15

不定期列車之需求

需求狀況

- 今年一至七月所開行之專開列車以及計畫性加開列車合計共296列次，平均每日約1.4列次。
- 一般而言若在春節等特殊需求期間，申請專開列車獲通過之機會不到三分之一。但若為平常日，則通過機會甚高。

月份	一	二	三	四	五	六	七
列次	11	24	55	57	44	47	58

車種	太魯閣	自強	行包	區間	莒光	復興	普通	電車
列次	2	1	2	14	172	56	9	40

車站	宜蘭	臺北	桃園	臺中	大甲	高雄	臺東	花蓮
列次	94	88	42	45	18	84	58	161

16

不定期列車作業流程

分類	申請	建檔/判斷是否受理
專開列車/團體列車	乘客團體	客座股
郵輪列車/兩鐵列車	車站與運務段	業務股
軍運列車	國防部	行車組
計畫性加開列車	車站與運務段	規劃股 (建檔後直接受理)

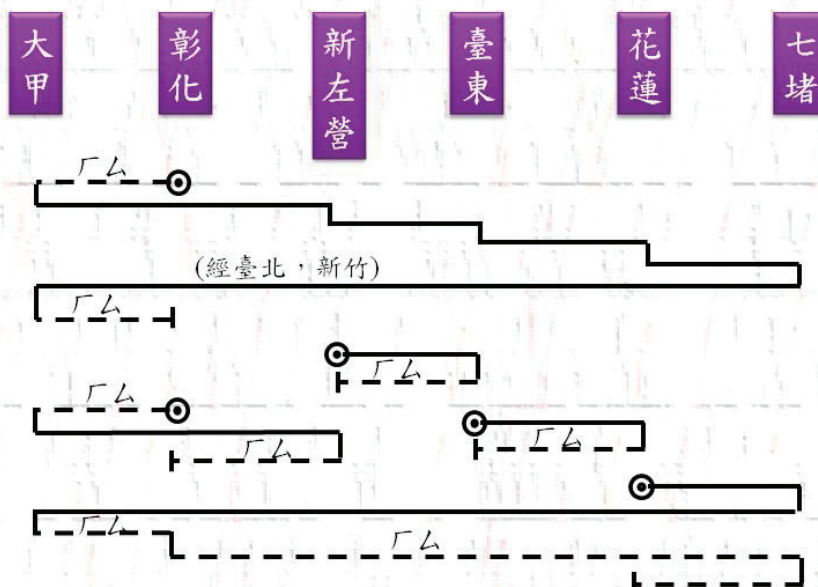
派遣計畫審核流程

- 綜合調度所之計畫組與客車組擬定
- 客車組負責編組審核
- 計畫組負責行點審核及車班審核
- 機務處負責機班審核
- 計畫組擬定草案

若有公告及
公開發售車
票，由營業
科辦理。

17

不定期列車作業：編組調度



18

不定期列車作業

機班調度

- 司機員連續乘務距離不得超過300公里
- 實務上通常均避免機班人員連續執行三小時以上之乘務
- 不定期車，機班常需便乘回機務段
- 部份柴電機車需要司機員與輔助司機員共同駕駛

軌道資源

- 動力車若非採無火迴送，則需機迴，佔用軌道資源
- 載客前後亦常各需要安排迴送車次
- 有些不定期車次於特定站久停，長時間佔用股道
- 暫時駛往其他車站停留時增加迴送車次
- 在儘量配合需求的使命下，實務有「壓點」現象，不影響運轉安全，但影響班表穩定

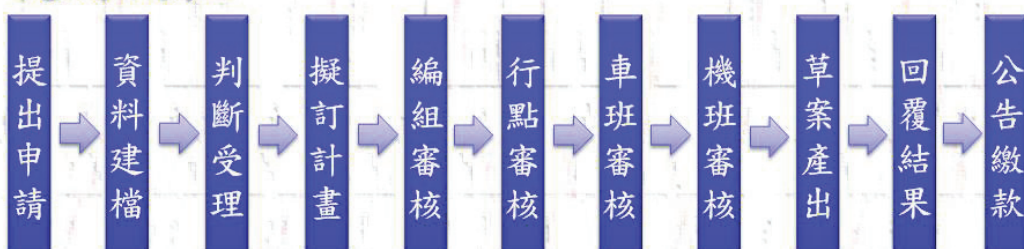
19

臺鐵現行不定期列車作業流程

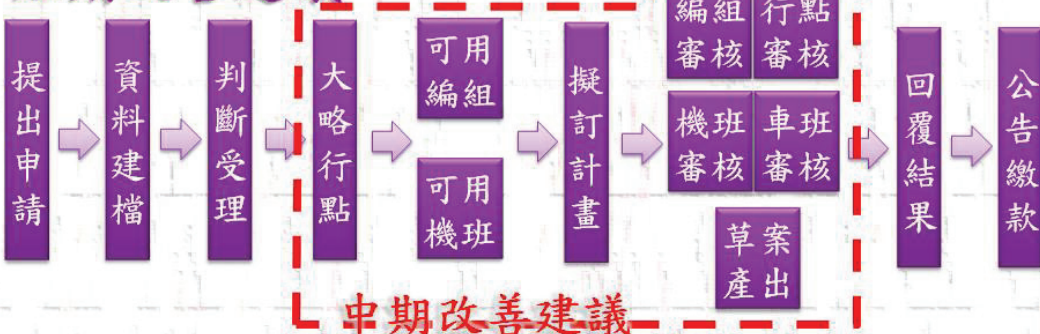
流程	負責單位	處理時限	
提出申請	各相關單位	1-2日	7-14日
資料建檔			
判斷受理			
擬訂計畫	計畫組	4-8日	
編組審核	客車組		
行點審核	計畫組		
車班審核	計畫組		
機班審核	機務處		
草案產出	計畫組	2-4日	
回覆結果	各相關單位		
公告/繳款			

20

現況流程



短期改善建議



中期改善建議

長期改善：結合自動排點系統

21

增加包車班次之列車排班模式

概說與問題定義

軌道模型

新增列車路徑數學模型

新增列車行點數學模型

22

包車排班模式：概說

名詞：背景班表、新增列車

問題定義

- 給定一個可行無衝突背景班表，在其中依指定的理想發車時間以及行程、停靠站等安插額外一系列次的新增列車

目的

- 不影響定期班表、或給定之影響容忍程度限制下，解析可容納之列車排點方案
- 求解如何在背景班表中納入新增列車，同時又使新班表滿足所有要求

國際文獻甚少

23

包車排班模式：概說

背景班表假設

- 所有列車通過所有車站所使用之股道已知
- 進入與離開每一區間之時分已知

新增列車假設

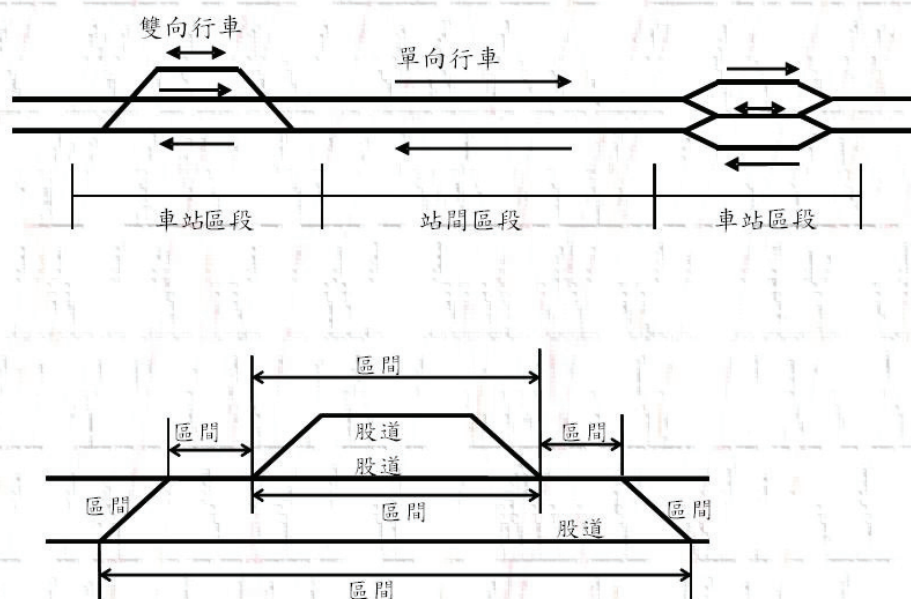
- 所行經的車站、經過之車站及其順序、於所經過各車站之任務(停靠或通過)均已給定

數學求解策略

- 求解列車路徑：列車在給定的班表中，由其起點車站到終點車站所行經的所有股道之有序集合
- 求解列車行點：列車在每一行經之車站的到開時間

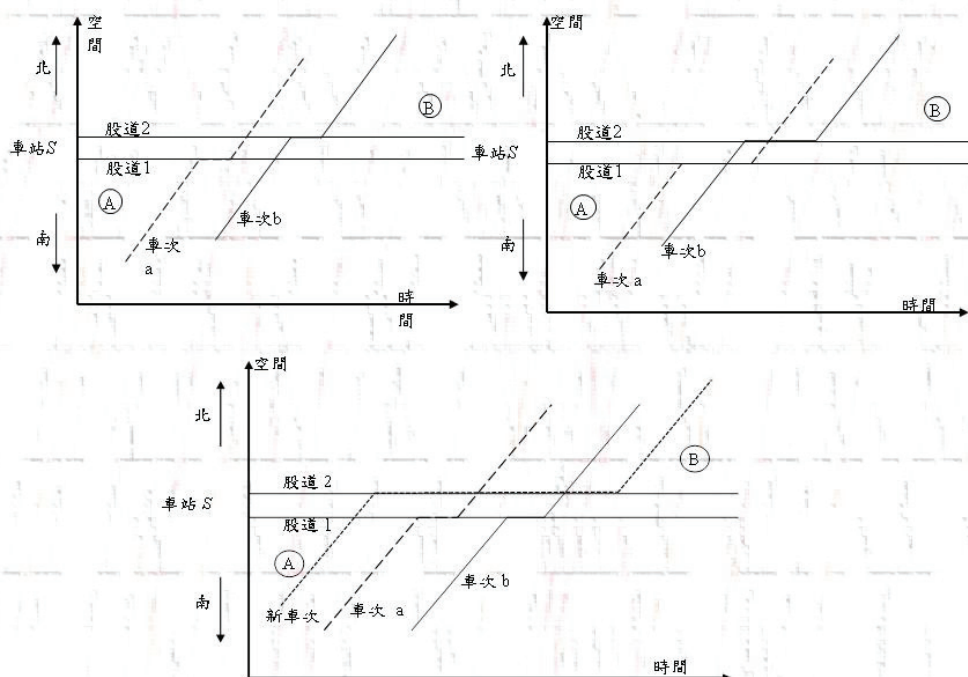
24

包車排班模式：軌道模型



25

新增列車路徑



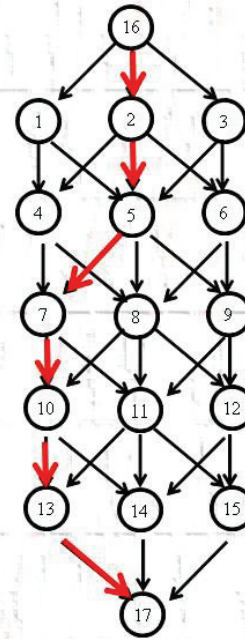
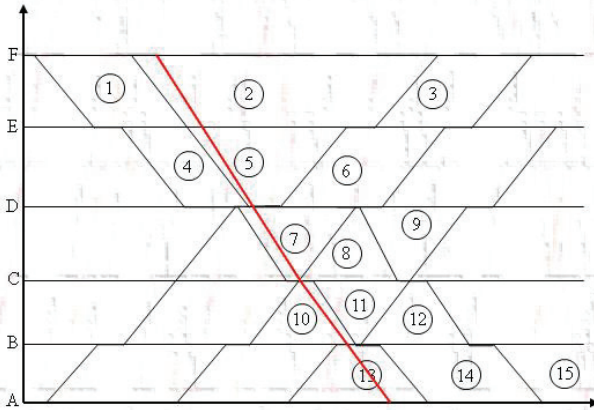
26

性質4.4-1：考慮通過任意車站 S 之任意二車次 a 與 b 。若且唯若 a 與 b 進入車站 S 之順序與離開車站之順序不同，而使用同一股道，則 a 與 b 於車站 S 產生衝突。

$$b_{sr} + b_{tr} \leq 1$$

$$\sum_{r \in R} b_{tr} = 1$$

$$b_{tr} \in \{0,1\}$$



最短路徑模型

27

行點模型

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } \sum_{k \in V} W_k (W^{P1} r_k^1 + W^{P2} r_k^2 + W^{P3} r_k^3 + W^{D1} \text{delay}_k^1 + W^{D1} \text{delay}_k^2 + W^{D3} \text{delay}_k^3) \\ & \text{Subject to} \\ & d_{hk} \geq a_{hk} + T_{hk}^{\min} \quad \forall h \in B_k \quad \forall k \in V \\ & d_{hk} \leq a_{hk} + y_{hk} + T_{hk}^{\max} \quad \forall h \in B_k \quad \forall k \in V \\ & y_{hk} \leq E_h \quad \forall h \in B_k \quad \forall k \in V \\ & r_k \geq a_{B_k^0} - G_k \quad \forall k \in V \end{aligned}$$

在滿足所有物理限制、時隔限制、時刻變動容忍量限制等條件下，求解最接近理想發車時間、行車時間最短之班表。

$$\begin{aligned} & \text{delay}_k^1 \leq W^{D1} \quad \forall k \in V \\ & \text{delay}_k^2 \leq W^{D2} \quad \forall k \in V \\ & a_{hk} - A_{hk} \leq RA_{hk} \quad \forall h \in B_k \quad \forall k \in V \\ & -a_{hk} + A_{hk} \leq RA_{hk} \quad \forall h \in B_k \quad \forall k \in V \\ & d_{hk} - D_{hk} \leq RD_{hk} \quad \forall h \in B_k \quad \forall k \in V \\ & -d_{hk} + D_{hk} \leq RD_{hk} \quad \forall h \in B_k \quad \forall k \in V \\ & y_{hk} \geq 0 \quad \forall i \in B_j \quad \forall k \in V \end{aligned}$$

28

班表穩定度分析

穩定度之衡量

- 穩定度由班表、軌道、擾動、整理共同決定
- 軌道系統運轉時必受擾動而偏離班表：「擾動強度」 p
- 相關人員促使運轉回歸既定班表之作為：「整理強度」 r
- 以班表受到一定擾動時各列車之晚點量衡量穩定度
- 使用班表模擬

新增列車穩定度之分析

- 若無壓點亦無擾動，新增列車對班表穩定無影響
- 模擬時設定僅新增列車有擾動，可觀察其對穩定度之影響

29

測試例



新左營=台東

33座車站

100.9.28班表，星期五

205列次

30

新增列車

3512X，枋寮至高雄

理想發車時間7:50

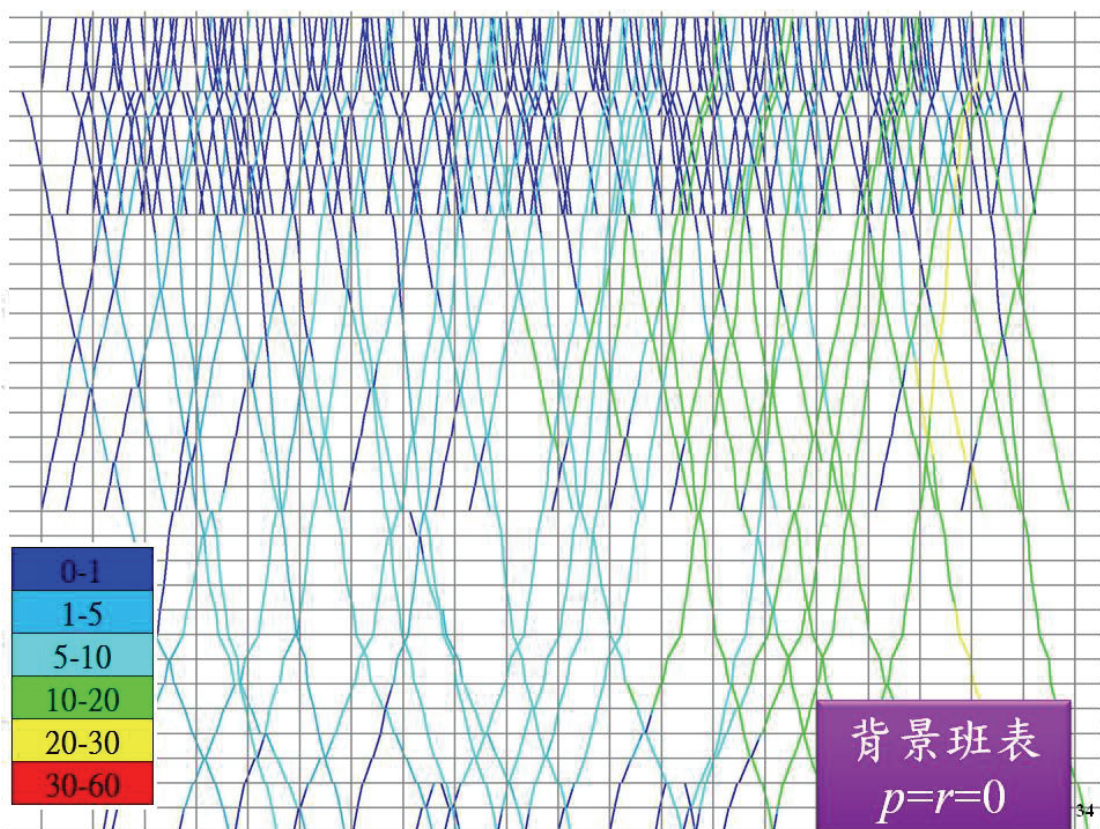
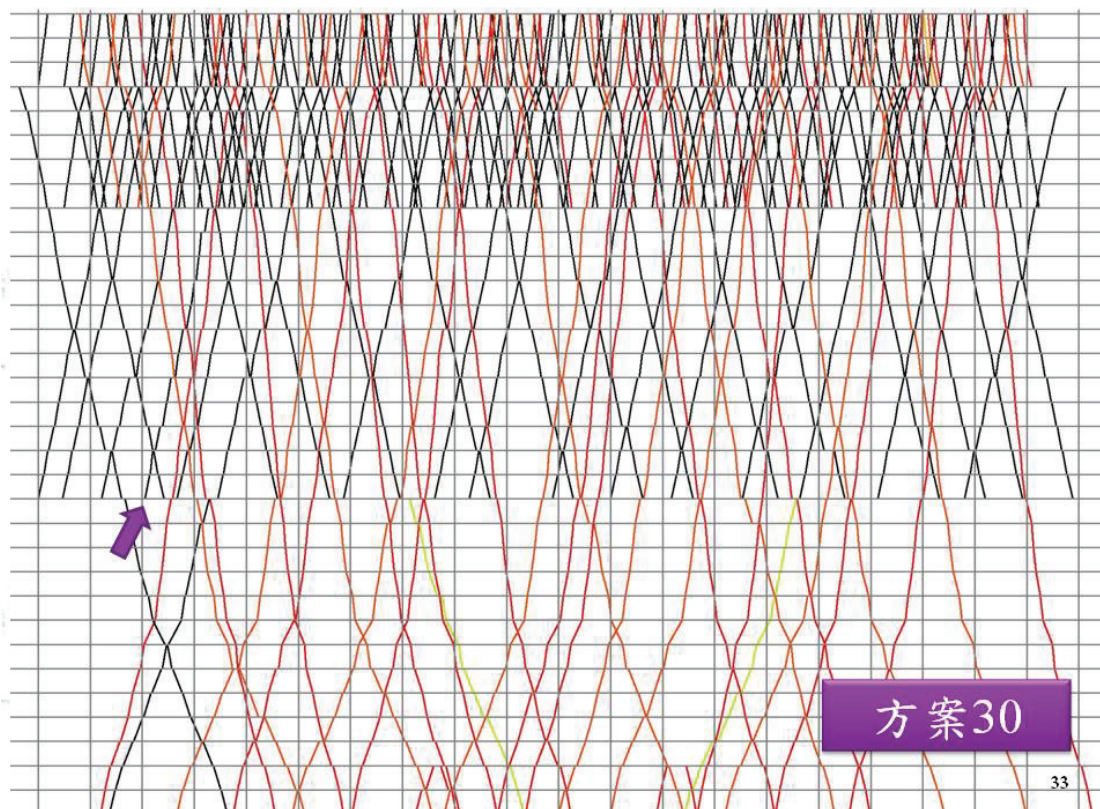
枋寮		南州	1	麟洛	0.5	後庄	0.5
東海	0.5	崁頂	0.5	歸來	0.5	鳳山	2
佳冬	3	潮州	1	屏東	2	高雄	
林邊	3	竹田	0.5	六塊厝	0.5		
鎮安	0.5	西勢	2	九曲堂	1		

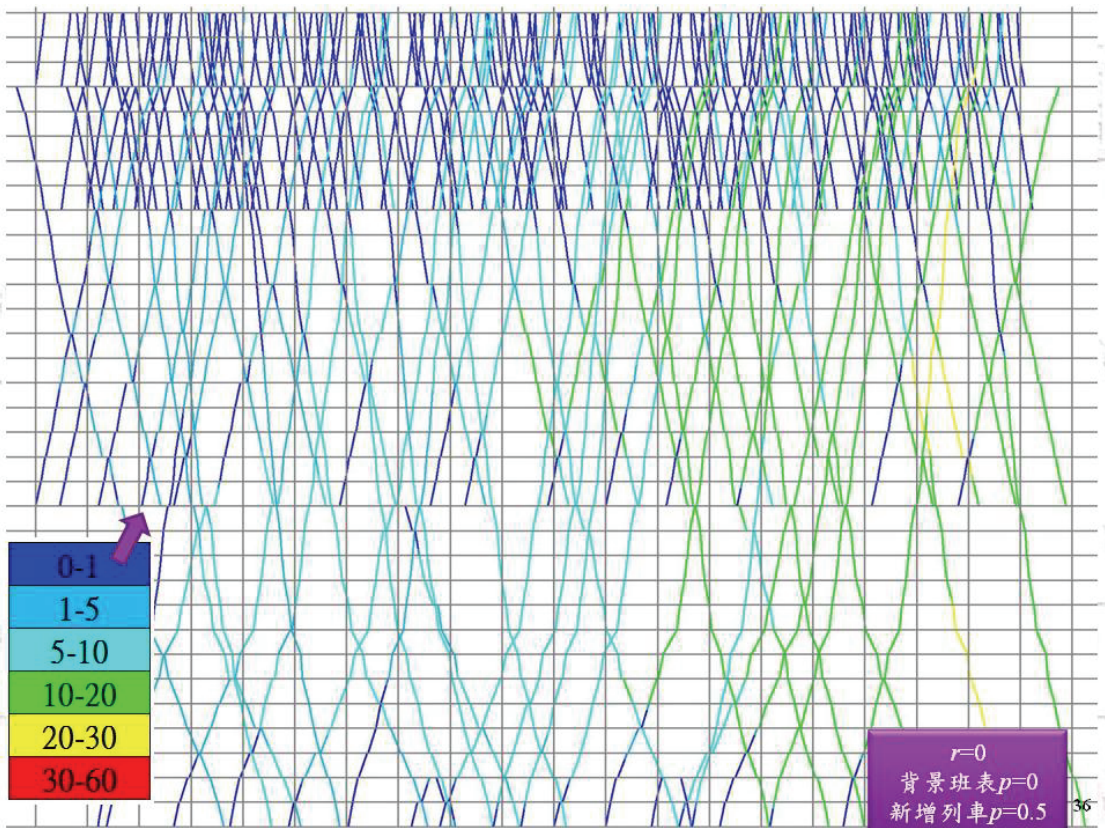
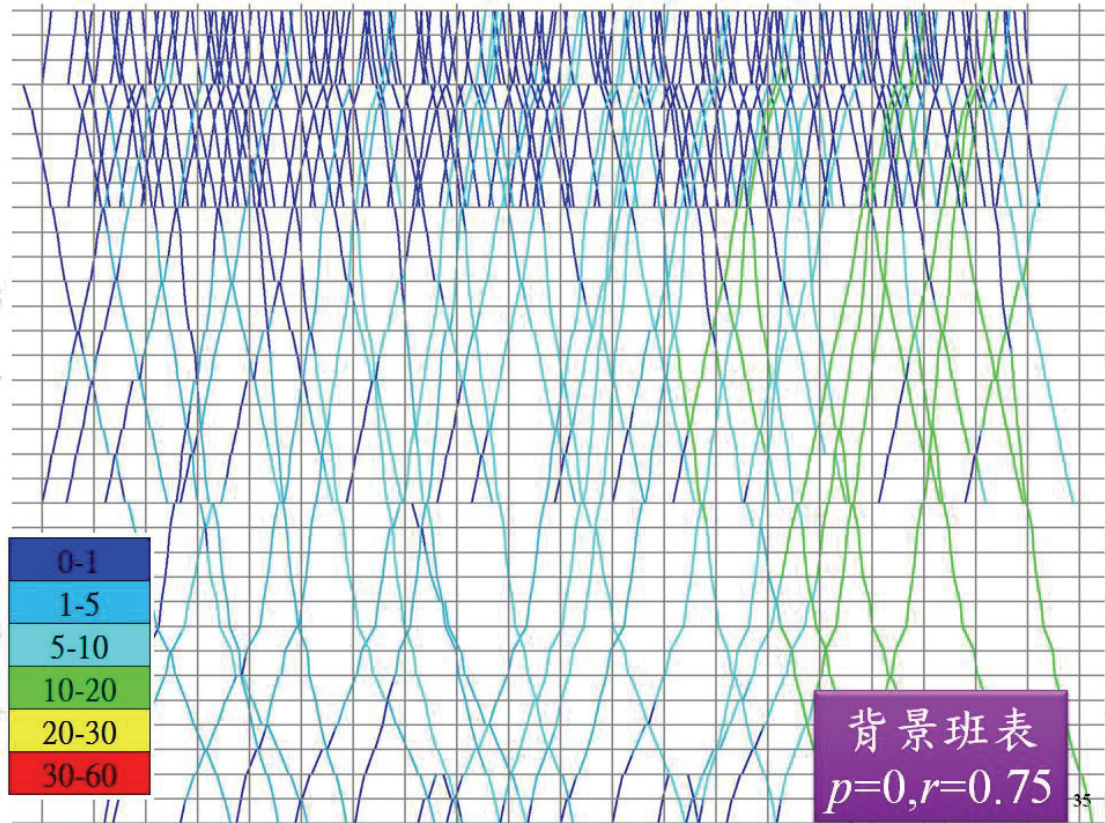
31

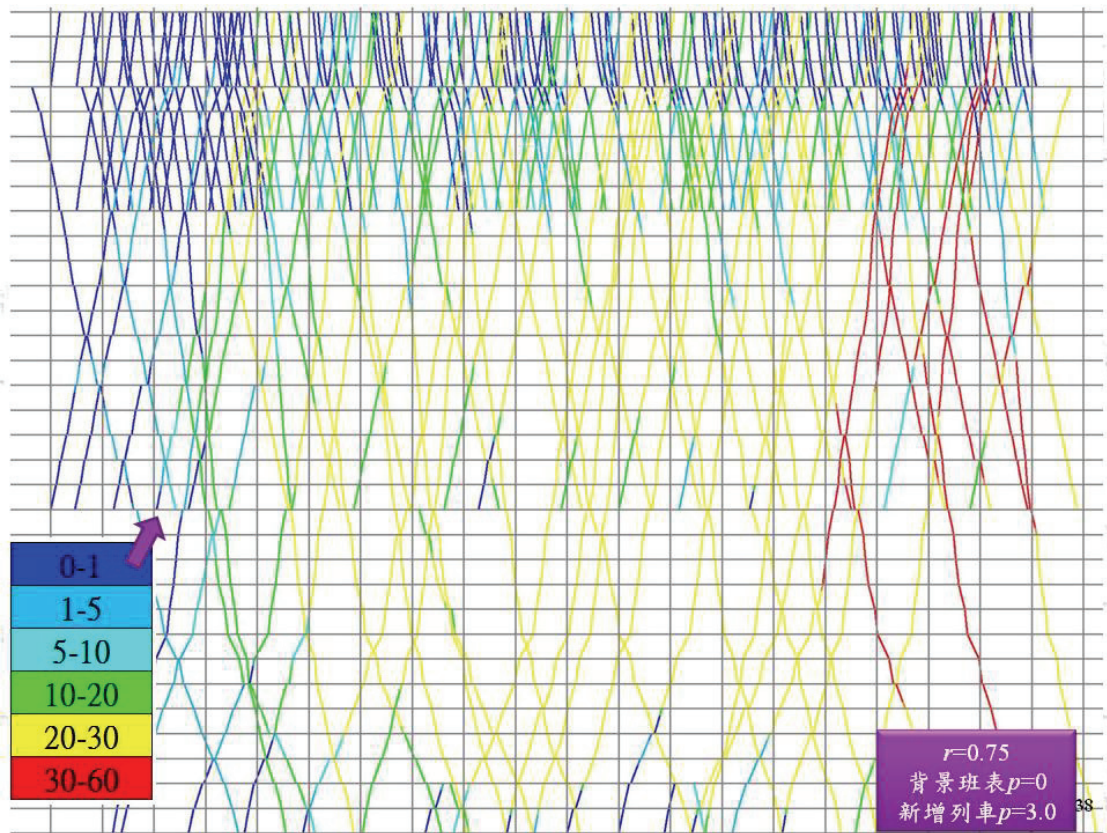
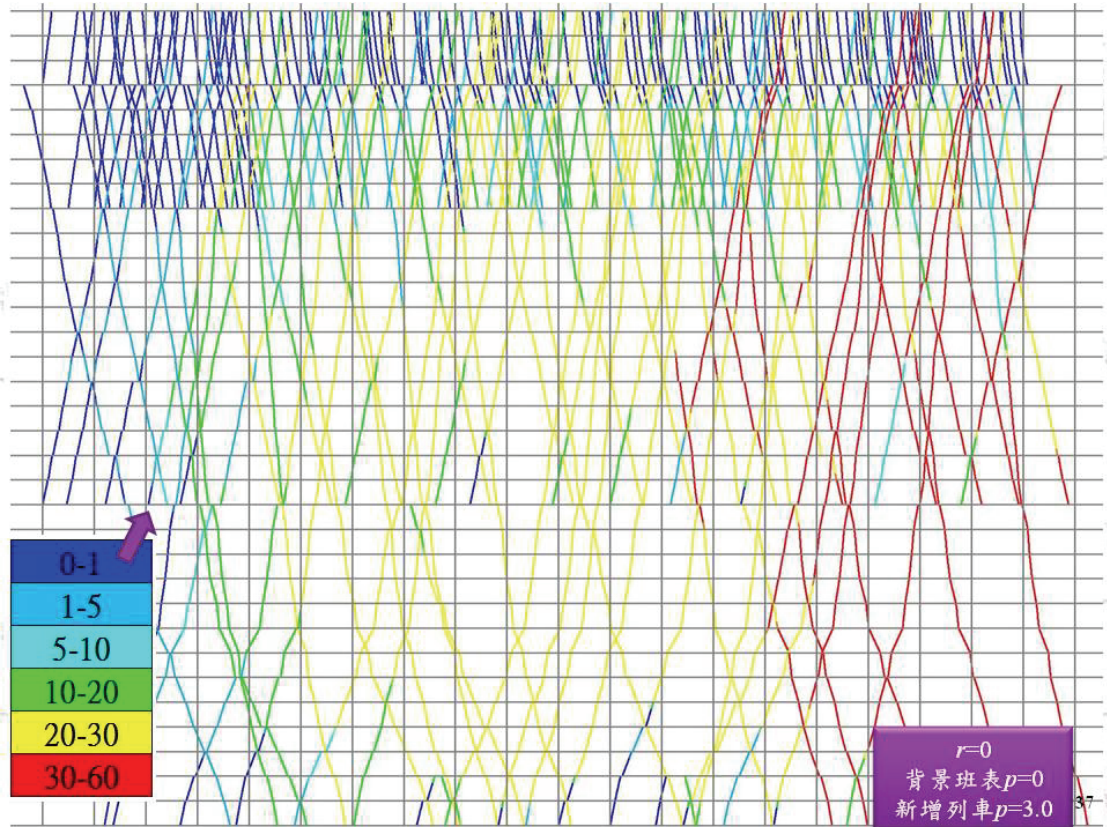
求解結果

	1	3	6	8	10	11	30
枋寮	6:48.5	7:03	6:48	6:48.5	6:48.5	7:03	7:03
東海	6:54 6:55	7:08.5 7:09	6:53.5 6:54	6:54 6:55	6:54 6:55.5	7:08.5 7:09	7:08.5 7:09
佳冬	6:57.5 7:00.5	7:12 7:15	6:57 7:00	6:57.5 7:00.5	6:57.5 7:00.5	7:12 7:15	7:12 7:15
林邊/鎮安/南州/崁頂/潮州/竹田/西勢/麟洛/歸來/屏東/六塊厝/九曲堂							
後庄	8:43.5 8:44	8:43.5 8:44	8:39 8:39.5	8:43.5 8:50	8:57.5 8:58	8:43.5 8:50	8:43.5 8:44
鳳山	8:49 8:51	8:49 8:57	8:44.5 8:48	8:55 9:06	9:03 9:05	8:55 9:06	8:49 8:51
高雄	8:59	9:03	8:56	9:14	9:13	9:14	8:59

32







結論與後續研究

不定期列車

- 數量少而成本高

主要成果

- 文獻回顧64篇
- 臺鐵不定期班車現況瞭解與整理
- 作業流程改善建議
- 構建包車排班模式
- 真實測試例

後續研究

- 不定期列車自動排點系統建置與持續擴充
- 以真實資料校估擾動強度 p 值之統計分佈
- 發展自動排點系統
- 發展與國際接軌之班表評估比較技術

39

臺鐵包車營運需求下列車班表之研究 期末簡報

財團法人成大研究發展基金會

報告人：李宇欣

2011/12/5

謝謝